

«Исследования на пороге серьезного прорыва, и Майкл Фоссел, словно Вергилий, повествует о таинстве процесса старения, последовательно и доходчиво он объясняет свой взгляд на то, как и почему изнашиваются органы тела, какова роль диеты и физкультуры и, самое главное, как и чем поможет всем открытие теломеразы».

– АЛЕКСЕЙ ОЛОВНИКОВ, ведущий научный сотрудник Института биохимической физики РАН, кандидат биологических наук, биолог-теоретик. Лауреат Демидовской премии РАН за 2009 год

Фермент,
останавливающий
старение клетки

ТЕЛОМЕРАЗА



Как сохранить молодость, укрепить здоровье
и увеличить продолжительность жизни

МАЙКЛ ФОССЕЛ

практикующий врач, доктор биологических наук, ведущий
специалист по клиническому применению теломеразы

ОТКРЫТИЕ,
УДОСТОЕННОЕ
В 2009 ГОДУ
НОБЕЛЕВСКОЙ
ПРЕМИИ

Майкл Фоссел

**Теломераза. Как сохранить
молодость, укрепить
здоровье и увеличить
продолжительность жизни**

Содержание

Теломерная теория старения: хронология	7
Предисловие профессора А.М. Оловникова, автора теломерной теории старения	9
Теломеразная революция. Предисловие главного редактора медицинского направления О.Л. Шестовой	12
Введение	14
Глава первая	15
Энтропийная теория старения	17
Виталистская теория старения	19
Гормональная теория старения	20
Митохондриальная (свободнорадикальная) теория старения	21
Диетическая теория старения	24
Генетическая теория старения	25
Слепцы и слон	27
Глава вторая	30
Лимит Хейфлика и клеточные основы старения	31
Теломеры, теломераза и клеточное старение	34
Теломерная теория старения	37
Что происходит, когда укорачиваются теломеры	38
Связь с другими теориями старения	40
Заблуждения о теломерной теории старения	42
Переходим от теории к медицинскому вмешательству	45
Продвигаемся к консенсусу	47
Глава третья	48
Эволюционное мышление	49
Эволюционные траты и выгоды	50
Дилемма многоклеточных	52
Глава четвертая	53
Часть первая	54
Часть вторая	62
Часть третья	68
Глава пятая	71
Иммунная система	78
Остеоартрит	81
Остеопороз	84
Старение мышц	88
Старение кожи	91
Гормональное старение	94
Отдельные системы и особые случаи	97
Старение легких	97
Старение желудочно-кишечного тракта	99
Старение мочеполовой системы	100
Старение органов чувств	101
Болезни, прямо связанные с теломерами	106
Глава шестая	112
Сердечно-сосудистые заболевания	113

Болезнь сонной артерии	119
Гипертония	121
Сердечная недостаточность	122
Неврологические возрастные заболевания	123
Болезнь Альцгеймера	123
Болезнь Паркинсона	128
Глава седьмая	130
В ожидании теломеразы	130
Осторожнее: кому выгодно?	132
Скала	134
Диета	137
Что считать оптимальным?	138
Специфические диеты	140
Ваша диета или моя диета?	141
Старение и диета	142
Физические нагрузки	144
Медитация	147
Активаторы теломеразы	149
Глава восьмая	151
Потенциал	152
Четыре пути	155
Медицинские результаты	157
Теломеразная терапия, какой она будет	159
Результаты для общества	161
Сочувствие и человеческая жизнь	164
Послесловие	166
Словарь терминов	167
Благодарности	171
Об авторе	172

*Тем, чьи умы открыты для логики, а глаза – для данных:
Пусть другие будут так же открыты для вас, как вы – для мира
вокруг вас.*

*Тем, кто, старея и страдая, слышит от других, что с этим
ничего не сделать:
Они неправы.*

*Теломеры – это последние несколько тысяч пар оснований
(нуклеотидов) на концах хромосом.*

*Их часто сравнивают с пистончиками, твердыми пластиковыми
наконечниками шнурков на обуви.*

Michael Fossel
on Aging and the Telomerase Revolution

Copyright © 2015 by Michael Fossel
First published in the United States by BenBella Books

Теломерная теория старения: хронология



1665 Роберт Гук обнаруживает, что организмы состоят из клеток.

1889 Шарль-Эдуар Броун-Секар, пионер эндокринологии, заявляет, что инъекции водного экстракта яичек животных (морских свинок, собак, обезьян) омолаживает людей и продлевает им жизнь.

1917 Алексис Каррель начинает 34-летний эксперимент *in vitro* с клетками куриных сердец, который якобы показывает, что отдельные клетки бессмертны. Исследования Карреля получают статус научной парадигмы, но в 1961 году их опровергают.

1930-е Сергей Воронов пересаживает яички и яичники шимпанзе и мартышек людям в качестве омолаживающей терапии.

1934 Мэри Кроуэлл и Клайв Маккэй из Корнелльского университета удваивают ожидаемую продолжительность жизни лабораторных крыс с помощью строгого ограничения калорийности питания. Результаты их опытов до сих пор не удалось повторить ни на людях, ни на других приматах.

1938 Герман Меллер открывает теломеру – структуру на конце хромосом.

1940 Барбара Мак-Клинток описывает функцию теломер: защита концов хромосом. Позже она получает за открытие Нобелевскую премию.

1961 Леонард Хейфлик обнаруживает процедурную ошибку в эксперименте Карреля и вводит концепцию так называемого лимита Хейфлика: клетки любого многоклеточного организма делятся ограниченное количество раз, а затем начинают демонстрировать признаки возраста, и их работа нарушается (например, в человеческих фибробластах клетки делятся 40 раз).

1971 Советский ученый Алексей Оловников выдвигает гипотезу, утверждающую, что укорочение теломер – это механизм, обуславливающий существование лимита Хейфлика.

1972 Денхам Харман выдвигает митохондриальную (свободнорадикальную) теорию старения.

1990 Майкл Уэст основывает Geron Corporation, первоначальной целью которой является вмешательство в процесс старения с помощью исследования теломер.

1992 Келвин Харли с коллегами обнаруживают, что пациенты с прогерией Гетчинсона – Гилфорда (дети с этой болезнью умирают от «старости» уже к 13 годам) рождаются с короткими теломерами.

1993 Майкл Фоссел, основываясь на исследованиях компании Geron, начинает работу над первой книгой о понимании того, как и почему запускается процесс старения. Книга *Reversing Human Aging* («Обратить старение вспять») выходит в 1996 году.

1997–1998 В *Journal of the American Medical Association* выходят первые статьи об использовании теломеразы для лечения болезней, связанных с возрастом; их автор – Майкл Фоссел.

1999 Компания Geron демонстрирует, что укорочение теломер не только связано со старением клеток, но и вызывает его, а удлинение теломер останавливает старение клеток.

2000 Компания Geron патентует использование астрагалозид в качестве активаторов теломеразы.

Начало 2000-х Geron и другие исследовательские лаборатории показывают, что удлинение теломер останавливает старение не только клеток, но и человеческих тканей. Рита

Эффрос из Калифорнийского университета в Лос-Анджелесе исследует иммунное старение и активаторы теломеразы.

2002 Компания Geron останавливает фармацевтическую разработку активаторов теломеразы, чтобы сосредоточиться на лечении рака, и продает нутрицевтические права на астрагалозиды компании TA Sciences.

2003 Вскоре после основания компания Sierra Sciences начинает исследования потенциальных активаторов теломеразы.

2004 Издательство Oxford University Press выпускает учебник Cells, Aging, and Human Disease («Клетки, старение и человеческие болезни»), написанный Майклом Фосселом.

2005 Phoenix Biomolecular начинает исследования новой технологии доставки теломеразы прямо в клетки. Из-за недостатка финансирования проект сворачивается еще до его завершения.

2006 TA Sciences выпускает на рынок первый нутрицевтический активатор теломеразы TA-65, полученный из растения *Astragalus membranaceus* (астрагал перепончатый).

2007 Начинаются первые испытания активаторов теломеразы на людях: TA Sciences собирает данные о пациентах, принимающих TA-65.

2009 За исследования теломеразы Нобелевскую премию получают Элизабет Блэкберн, Кэрол Грейдер и Джек Шостак.

Начало 2010-х Появление первых компаний, которые оценивают старение и риск заболеваний, измеряя длину теломер: Telomere Diagnostics (основатель – Кел Харли, бывший сотрудник Geron, Менло-Парк, Калифорния) и Life Length (основатель – Мария Бласко, Мадрид, Испания).

2011 Рон Де Пиньо, работавший в то время в Гарварде, демонстрирует, что старение у некоторых генетически модифицированных животных можно остановить.

2011 Компания Geron продает права на все свои активаторы теломеразы в TA Sciences.

2012 Мария Бласко в Испанском национальном центре исследования рака в Мадриде обращает вспять многие аспекты старения у нескольких видов животных.

2015 Основание Telocyte – первой биотехнологической компании, задавшей целью вылечить болезнь Альцгеймера с помощью теломеразы.

Предисловие профессора А.М. Оловникова, автора теломерной теории старения



В этой книге рассмотрены основные проблемы современной науки о старении. Написал ее в научно-популярном стиле высокопрофессиональный врач-исследователь, мировой эксперт по клиническому применению теломеразы. Майкл Фоссел – широко известное в мире геронологическое перо, увлекательно и точно рассказывает он про науку. Но, замечу, там, где речь идет о ее солдатах, автор местами предпочитает художественный вымысел – из серии «за ради красного словца не пожалею и отца». Я не отец ему, но его красное словцо коснулось и меня. Не внял Майкл просьбе не фантазировать в английском варианте на тему советской/российской жизни. Про меня ни с того ни с сего написал, что обитаю в крохотной квартирке, хотя никогда у нас не был. Как и в стране вообще. Но зато отослал меня в ГДР, куда как беспартийный я как раз не был допущен.

Но перейдем к науке. В чем можно с автором согласиться безусловно, так это в том, что исследования старения сейчас на пороге действительно серьезного прорыва. Успехи этой главы биологии и медицины уже позволяют рисовать карты осваиваемого материка, прокладывающие разные пути к постижению мистерий старения, а то и к самому фонтану юности, усыпанному молодильными яблоками из полузабытых сказок. И автор, умело тасуя все эти карты, раскладывает свой увлекательный пасьянс. И, как правило, выносит справедливые вердикты. Например, верно то, что весьма популярная долгие годы митохондриальная (свободнорадикальная) теория старения, отлично исполняя описательную функцию, предсказательной силы не выказала и на истинную движущую силу старения указать не смогла.

Автор ведет читателя от истории ранних попыток противостоять старению до мира современных врачебных вмешательств. И не просто констатирует состояние вопроса, а, что особенно ценно, везде высказывает свою четкую позицию. И все это перемежается то усмешкой Вуди Аллена, то философским прищуром Шопенгауэра, то рассказом о потере контракта на 1 млрд долл. США. Текст богат вопросами, и на многие из них предложены авторские ответы. Почему старик может сломать ребра после сильного приступа кашля? Почему старая кожа очень нежная и легко рвется? Читатель узнает, что у лабораторных мышей, например, теломеры длинные, а живут они недолго, а вот у человека теломеры много короче, но живут люди подольше мышей. Почему? По мнению Фоссела, дело не в длине теломер, а в *изменении* их длины. Последовательно и доходчиво он объясняет свой взгляд на то, как и почему стареют органы брэнного тела. Под углом старения оценивается и роль диеты, и роль физкультуры и много чего еще. Кстати о физкультуре. Автор отмечает, что хотя тренировки помогают пожилым чувствовать себя лучше, что очень важно, они все же не способны повлиять на неотвратимость даже одного только мышечного старения. На острый и распространенный вопрос: не вызывает ли теломераза рак, в книге дан следующий ответ. Нет, теломераза не вызывает рак, и она может даже предотвратить появление большинства видов раков, поскольку клетки с длинными теломерами лучше защищены от геномной нестабильности. Раздел про возрастные изменения сосудов, про гипертонию и инсульты читается вообще, как триллер, так что особо слабонервным лучше его пропустить. Как и текст о том, что старение творит с мозгом. Научный анализ развития старческого слабоумия писатель предварил леденящим зачином: болезнь Альцгеймера «словно тать в ночи, крадет

наши души, оставляя лишь пустую телесную оболочку». Хотя в книге лавина фактов, перед нами не учебник, а доверительная беседа с пытливым слушателем, в которой автор и ставит вопросы, и тут же отвечает на них, ведя нас, как Вергилий, по кругам старения.

Некоторые положения книги дискуссионны, что, впрочем, автор и не скрывает. А некоторые строки, касающиеся истории, следовало бы формулировать четче: при упоминании работы Барбары Мак-Клинток по теломере сказано, что позже Мак-Клинток получила Нобелевскую премию. Истина в том, что великая Барбара действительно получила премию за исследование хромосом, но читатель в этом контексте может подумать, что премировали за теломеру, хотя на самом деле – за открытие мобильных элементов генома.

Так или иначе, но с каждой страницей перед читателем разворачивается панорама пульсирующей жизни науки о старении. Фоссел глубоко прав, указывая на ошибочность поиска генов, вызывающих старость; проблема не в том, что геронтологам не хватает финансирования, а в том, что биogerонтология и биомедицина пока «ищут ключи под фонарем». Говоря словами самого автора, «мы просто атакуем не ту клиническую цель». То есть нужна смена парадигмы. Но не должна ли за описываемой «теломеразной революцией» последовать еще одна? Возможно, решающая.

Если так, то чего же именно следует ждать дальше? На мой взгляд, нужно сделать еще один шаг – перейти к новой парадигме в понимании старения. В ее рамках укорочение теломер совершается параллельно с укорочением особых структур – принтомер. Это небольшие молекулы экстрахромосомных ДНК-амплификатов, которые лежат на хромосоме, примерно как рыба-прилипала на огромной акуле. С принтомер транскрибируются регуляторные РНК, важные для поддержания клеточной дифференцировки и регулирующие экспрессию хромосомных генов. Принтомеры являются копиями небольших внутрихромосомных оригиналов, и именно поэтому присутствие принтомер не распознается при рутинном определении последовательности генома. Укорочение принтомер, как и теломер, происходит из-за концевой недорепликации ДНК. Концы принтомер защищены небольшими теломероподобными последовательностями. Теломераза предотвращает клеточное старение и immortalizes клетки, как можно полагать, только потому, что она удлиняет и защищает от укорочения теломероподобные концы принтомер одновременно с концами теломер. А вот когда принтомера критически укорочена и клетка не может более делиться, утрачивая некоторые из своих прежних, молодых, признаков, вот тогда клетка стареет. Именно поэтому клетки с укороченными, но с вполне еще функциональными теломерами, казалось бы, загадочным образом начинают проявлять признаки дисфункциональности. То есть экспрессия генов стареющей клетки, исчерпавшей свой лимит удвоений, меняется из-за утерянной активности принтомер, а не из-за параллельно происходящего укорочения теломер.

Укорочение же длины теломер – просто удобный индикатор происходящих с клеткой перемен. Если постаревшую клетку, лишившуюся одной из ее принтомер, принудительно заставить делиться (а такие условия *in vivo* возникают, например, в зоне хронического язвенного воспаления), то может даже создаваться предпосылка к возможному раковому перерождению. Это все к вопросу о клеточном старении, но кроме того есть еще и старение организма как целого. Согласно предположению, организменное старение обусловлено тиканием в мозге хронографа, запрограммированно теряющим из своих неделящихся нейронов ДНК-амплификаты. В соответствии с этими потерями нейроны хронографа модифицируют иннервируемые структуры тела. Именно поэтому с возрастом появляются морщины, меняется гормональный профиль организма и приходит бездна иных перемен.

Несмотря на многообразные усилия геронтологов, диета и тренировки по-прежнему остаются, как подчеркивает Фоссел, наилучшими на сегодня способами оптимизировать здоровье. В диету, кстати, входят и БАДы, и он вспоминает в этой связи про напичканность американцев пищевыми добавками, отразившуюся в шутке фармакологов: «у американцев

самая дорогая моча в мире». Но ни диеты, ни тренировки, ни медитации, ни добавки не остановили процесс старения. Наибольшие надежды автор книги возлагает на такие анти-возрастные средства, как применение теломеразных активаторов и лекарств против атеросклероза сосудов.

О болезнях старения, их истоках и следствиях в книге рассказывается ясно, просто и нередко с неожиданными поворотами проблемы. Описывая остеопороз – потерю костной массы с возрастом, ту самую болезнь старения, которая увеличивает риск перелома кости, автор откровенно поясняет, что живи люди дольше, риск переломов достиг бы 100 %. В этом месте, кстати, нельзя не задать риторический вопрос: так, может, усилия науки, стремящейся удлинить жизнь, тщетны и напрасны, и ведут лишь в тупик, если, допустим, тот же скелет всех читателей все равно обречен? Нет, усилия не напрасны, и вот почему: если остановить часы старения, то отменится и возрастное замедление обновления кости, а с ним упадет и угроза скелету. Как именно осуществляется работа упомянутых мной часов – эта тема далеко выходит за рамки предисловия к «Теломеразной революции». Возникнет ли следующая, «хронографическая революция»? Сможет ли она остановить старение организма, а затем, пусть частично, обратить его вспять? Это покажет будущее. Возможно, не очень далекое.

У Майкла Фоссела своя позиция, четко артикулируемая на каждой странице, и многие специалисты с ним согласны. По его мнению, в отношении старения мы сейчас находимся вблизи переломной точки в истории медицины. Хочется надеяться, что в этом он бесспорно прав. Своими трудами он внес неоценимый вклад в трансформацию взглядов западного общества на старение, которое начинает восприниматься теперь как потенциально управляемый процесс. Эта книга – про медицинский аспект теломер и про перспективы борьбы со старением вообще – уже получила свою аудиторию в мире, и, конечно, найдет ее и в России. В особенности среди тех, кому не хотелось бы стареть слишком быстро.

А.М. Оловников,
ведущий научный сотрудник Института биохимической физики РАН, кандидат биологических наук, биолог-теоретик.
Лауреат Демидовской премии РАН за 2009 год

Теломеразная революция. Предисловие главного редактора медицинского направления О.Л. Шестовой



Эту книгу представляю Вам с особым удовольствием. Во-первых, потому, что ее тема касается буквально каждого, кто хоть однажды задумывался о своем возрасте. А во-вторых, потому, что ее написал мой коллега – ученый-исследователь и одновременно врач. Благодаря этому Майкл Фоссел легким словом описывает сложные биологические вопросы, при этом ни на минуту не упуская из виду, как эти самые современные знания могут быть полезны для нас и применены врачом для лечения возрастных изменений и поддержания молодости.

Майкл Фоссел, доктор медицины и кандидат биологических наук, работает над вопросами старения более 30 лет. Он посвятил всю карьеру исследованию причин старения и разработке средств лечения, которые могут принципиально изменить течение этого процесса. Главный вопрос, который он поднял, звучал революционно: пора перестать лечить старческие болезни, являющиеся лишь симптомами болезни под названием «старость». Майкл Фоссел предложил считать старость болезнью и стал, как и многие ученые вслед за ним, искать лекарство от нее.

Отличие от того, что наблюдается на практике сейчас, – фундаментальное. Простая аналогия – лечение гриппа. Препаратов с доказанной эффективностью собственно от гриппа нет; лечение направлено на облегчение симптомов: боли в горле, слишком высокой температуры, заложенности носа, – а также профилактику осложнений. Традиционный подход к старению сейчас такой же, как при гриппе. Но если будет окончательно выявлена причина старения, то тогда начнутся разработки радикального средства ее избежать – путем воздействия непосредственно на причину, а не на симптомы и следствия. Ученые считают, что причина вот-вот будет найдена, и она объединит все пять теорий старения, описанных в книге Майкла Фоссела. На сегодняшний день это теломеразная теория.

Как быстро все меняется в этой области биологии, вижу на собственном примере. Когда еще училась на биологическом факультете МГУ, нас, студентов, только познакомили с гипотезой советского ученого Алексея Оловникова. Она касалась участия теломер в механизме, обуславливающем конечное число делений клетки. Доказано, что концевые участки хромосом представляют собой несколько сотен или тысяч одинаковых триплетов: это и есть теломеры. Триплет – это последовательность оснований, представляющих единицу генома, кодирующую белки, из которых строится все человеческое тело. Но теломеры не кодируют никаких белков, зачем они тогда, тем более в таком количестве? И почему их количество уменьшается с каждым делением клетки? Советский ученый Алексей Оловников в 1971 году предположил, что укорочение теломер – это и есть механизм, обуславливающий конечное число делений клетки, так называемый лимит Хейфлика. Уже когда закончила биофак, продолжила следить за исследованиями в этом направлении. В 1992 году было обнаружено, что дети с прогерией, умирающие от «старости» к 13 годам, уже исходно рождаются с короткими теломерами. Так была обнаружена прямая связь между длиной теломер и старением.

Несмотря на очевидную корреляцию между длиной теломер и старением клеток, вопрос о причинно-следственной связи оставался открытым до 1999 года, когда в лаборатории удалось показать, что удлинение теломер останавливает старение – и клеток, и чело-

веческих тканей. Осталось решить, как удлинить теломеры и остановить старение клетки, а вместе с ней и организма. В 2009 году Нобелевскую премию по медицине и физиологии присуждают за исследование теломеразы – фермента, способного удлинять укоротившиеся с возрастом теломеры. Оловников в число нобелевских лауреатов не вошел, хотя именно его блестящая гипотеза легла в основу исследования, и это было признано биологическим и медицинским сообществом почти единогласно. В 2012 году Мария Бласко в Испанском национальном центре исследования рака в Мадриде обращает вспять многие аспекты старения у нескольких видов животных. А совсем недавно, в прошлом году, была основана первая биотехнологическая компания, поставившая целью вылечить болезнь Альцгеймера с помощью теломеразы – болезнь, связь которой со старением статистически установлена. В 1980-е годы, когда я училась на биофаке, такое даже не могло присниться в самых фантастических снах.

Думается, что существует не один способ удлинения теломер, и не исключена обратная связь – по аналогии с эмоцией, ее выражением и состоянием человека. Если человеку весело, он улыбается. Но если ему грустно, и он заставляет себя улыбнуться, по принципу обратной связи его печаль уменьшается. То же может происходить с теломерами: они укорачиваются – организм стареет. Если человек ведет образ жизни и совершает поступки, характерные для молодого организма, его теломеры могут удлиняться, и он чувствует себя моложе и живет дольше.

Ученые уже знают, как обратить вспять старение в клетках, тканях, а в последнее время – и у животных. Остается лишь один вопрос: как скоро и насколько эффективно ученые и врачи смогут остановить старение у людей. Эта отрасль науки так быстро меняется, что, думаю, ждать осталось совсем недолго. Вы убедитесь в этом сами, когда прочитаете эту увлекательную книгу, основанную только на научных исследованиях и доказанных фактах.

Желаю Вам здоровья и долголетия!

Искренне Ваша,

Главный редактор медицинского направления, кандидат биологических наук

Ольга Шестова

Введение



В последние годы ученые добились невероятного прогресса в понимании процесса человеческого старения. Их исследования привели нас на порог настоящего медицинского прорыва – возможности замедлить или даже обратить вспять процесс старения и вылечить множество заболеваний, связанных с возрастом.

Вы можете относиться к этому скептически и будете правы. Шарлатаны и мечтатели – я уж не говорю о косметических компаниях – уже не одно столетие обещают нам лекарство от старости. Задача, стоящая перед нами, огромна, и мы лишь в самом начале ее решения.

Но сейчас мы уже довольно ясно понимаем базовые факты о человеческом старении, которые подробно рассмотрим в этой книге. На основе этого понимания даже уже разработано несколько видов терапии, с помощью которых удалось добиться скромных результатов по изменению процесса старения. Сейчас мы близки к тестированию на людях уже куда более многообещающих видов терапии.

Большинство этих исследований остались незамеченными широкой публикой. В этой книге я расскажу о невероятных прорывах, которых уже удалось добиться, и о том, чего мы сможем добиться уже совсем скоро. Это потребовало настоящего сдвига парадигмы в понимании того, что такое старение. Как и всегда, старые парадигмы отмирают медленно, часто – даже раздражающе медленно.

Я – врач, так что для меня главное – клинические результаты. Понимание природы старения, безусловно, необходимо. Но главная цель – не просто понять, а разработать методики продления жизни, лечения болезней и облегчения страданий.

Чтобы добиться этого, требуются не только фундаментальные исследования, но и воля корпоративных советов директоров, которые контролируют финансирование, необходимое для разработки и тестирования лекарств. Я расскажу вам несколько инсайдерских историй о трудной дороге к прогрессу в отрасли с постоянно меняющимися корпоративными приоритетами и устаревшими парадигмами.

Я работаю над вопросами старения более тридцати лет – и как врач, и как ученый-исследователь. Я посвятил всю карьеру исследованию причин старения и разработке видов терапии, которые могут изменить течение этого процесса. Кроме того, я посвятил немало времени, объясняя своим коллегам-ученым последние достижения в этой отрасли: я редактирую *Journal of Anti-Aging Medicine*, а также написал учебник *Cells, Aging, and Human Disease*, выпущенный издательством Oxford University Press.

В этой книге я постараюсь познакомить с новейшими исследованиями старения широкие массы читателей. Думаю, она покажется вам интересной, неожиданной и полной надежд.

Глава первая Теории старения

Я не хочу стать бессмертным благодаря моим работам. Я хочу стать бессмертным благодаря тому, что не умру
Вуди Аллен



Около 70 тыс. лет назад первые люди – наши прямые предки – конкурировали с неандертальцами и *Homo erectus*. И те и другие конкуренты были сильными, умными, имели свой язык и умели производить инструменты. Мы были сравнительно хлипкими, так что нам мало что можно было посоветовать в прямом соперничестве с более древними гоминидами. Наше единственное заметное преимущество было довольно странным и на первый взгляд могло показаться даже недостатком. Мы умели думать и говорить о вещах, которые на самом деле не существуют.

Это изменило все.

Мы умели рассуждать об абстракциях: «завтра», «бог», «искусство», «наука», «мечты», «сострадание». В эти абстракции нельзя бросить копье, их нельзя съесть, украсть, сломать или уничтожить. Но именно они не только сделали нас людьми: они, как ни странно, еще и улучшили наши шансы на выживание. Мы могли не только говорить о неосязаемых вещах, жизненно необходимых для общественной организации: верности, сотрудничестве, стратегии, – но еще и представлять себе вещи, которые можно *создать*: оружие, инструменты, сельское хозяйство, законы.

Эти способности – абстрактное мышление и воображение – лежат в основе нашей способности *творить*. Люди создают не только произведения искусства и инструменты, но и теории – религиозные и научные объяснения того, как работает мир, – а это в конце концов позволяет нам изменить нашу собственную реальность. Научный прогресс находится в прямой зависимости от этого навыка. Мы конструируем некое представление о том, как работает реальность, проверяем наши объяснения, а затем используем их, чтобы улучшить реальность. Собственно, вот что такое научная теория: взгляд на реальность, который мы можем проверить, а потом использовать его, чтобы улучшить мир. Мы лечим болезни, выращиваем пищу и постепенно делаем человеческую жизнь все легче и безопаснее.

Человек – единственное существо, которое умеет так делать. Способность работать с абстрактными идеями отсутствует у всех других животных, даже у самых близких наших родственников – шимпанзе и горилл.

Ключ к использованию теории для улучшения человеческой жизни – или для превращения мечты в реальность – состоит в наличии нужных инструментов и знаний, позволяющих ими пользоваться. Я часто использую следующее сравнение: каждому кораблю, чтобы пуститься в плавание, нужна карта.

КАК ПЕРЕХИТРИТЬ ГОРИЛЛУ

Коко была первой гориллой, которую удалось научить языку жестов. Когда ей было три года, меня назначили ее «нянькой»: я проводил с ней по шесть часов в неделю целый год. Коко понимала более тысячи знаков и очень искусно придумывала игры. Она поняла, что меня нельзя кусать (правда,

только после того, как я укусил ее в ответ), но придумала следующую забаву: натягивала на себя мой мешок для грязного белья – так, что из-под серой ткани торчали только две черные мохнатые ноги, – а потом прыгала на меня с кухонного стола и пыталась догнать. У игры было следующее «правило»: если она меня догоняла, то ей разрешалось меня укусить – но только в том случае, если у нее на голове был мешок, так что я не видел, как она кусает. Серый мешок для грязного белья почему-то изменил все. Он помог ей придумать новую игру со мной. С другой стороны, Коко, конечно, была умнее любого другого животного, с которым мне приходилось иметь дело, но она так и не поняла знаков, обозначающих абстракции, а без абстракций нет ни человеческого мышления, ни человеческого общества.

Иногда корабль бывает простеньким, а вот карта – очень сложной. Для профилактики оспы, например, корабль – это просто острая игла, инфицированная коровьей оспой. Это все, что необходимо нам для прививки от оспы, если мы знаем, как ее делать. Но сначала нам понадобилась карта: знания о микробах, вакцинации, отличии человеческой оспы от коровьей, инфекциях и так далее.

В этой главе вас ждет рассказ о картах, которые мы нарисовали, пытаясь разобраться в процессе старения. Как мы увидим, единой карты с консенсусом не существует – есть лишь куча разнообразных карт и их толкований, конфликтующих между собой. Но сейчас мы наконец постепенно начали составлять карту, которая действительно объясняет процесс старения. А что касается корабля – инструменты, необходимые для изменения процесса старения, за последние 500 лет значительно улучшились, и последние лет десять мы стоим на пороге серьезного клинического прорыва.

Давайте начнем с изучения нескольких конкурирующих карт, которые мы нарисовали в попытках разобраться в старении. Во всех них есть зерно истины, но ни одна из них не разрешает загадку полностью.

Энтропийная теория старения

Поначалу мы даже не считали, что старение – это проблема, которую нужно решать. Старение живых организмов – вовсе не уникальное явление. Да и не только живых: горы стареют, галактики стареют, даже сама Вселенная стареет. Более того, второй закон термодинамики гласит, что энтропия любой закрытой системы всегда возрастает, беспорядок всегда увеличивается. Вот почему ваша машина не заведется, если вы к ней до этого несколько лет не притрагивались. Через несколько миллионов лет горная гряда превращается в пыль. Через 11 миллиардов лет даже само Солнце станет холодным. Стареет абсолютно все.

Жизнь зависит от порядка, структуры и организации. Если беспорядка станет слишком много, жизнь не сможет поддерживать себя, так что загадка показалась нам решенной. Организмы стареют, потому что этого требует сама природа физической Вселенной.

Немало конкретных теорий подпадают под общий «зонтик» энтропийного старения. Эти теории утверждают, что простейшего факта жизни – «все устает и изнашивается» – достаточно, чтобы объяснить процесс старения.

Многие из этих подходов – вариации на тему. Теория взаимопересечения гласит, что любое старение вызывается тем, что молекулы со временем связываются и пересекаются друг с другом, что мешает их нормальному функционированию. Схожая теория обвиняет во всем конечные продукты гликирования (КПГ): молекулы глюкозы связываются с молекулами белков, вызывая накопление отходов в организме и потерю функциональности.

Есть множество других объяснений, называющих причиной старения накопление различных других отходов, например липофусцина – пигментированного липида, скапливающегося во многих стареющих клетках.

Одна из самых заманчивых вариаций на тему рассматривает повреждение не обычных молекул и ферментов, а самого важного для живых клеток набора молекул – ДНК. В этих теориях утверждается, что с течением времени ДНК постепенно накапливает в себе повреждения, и это мешает ей производить важнейшие белки. Постепенно клетка становится все менее функциональной, начинается старение, и в конце концов клетка полностью гибнет.

Все эти теории основаны на фундаментальной истине: с течением времени неизбежно происходят повреждения. Молекулы действительно связываются, отходы действительно накапливаются, даже ДНК действительно повреждается. Но эти теории недооценивают невероятную силу клеточной регенерации. Да, некоторые клетки стареют и приходят в негодность, но другие остаются совершенно здоровыми, живут и размножаются без каких-либо ограничений – несмотря на космические лучи, накопление отходов и изменения окружающей среды.

В течение миллиардов лет вся жизнь на Земле была одноклеточной, и эти отдельные клетки могли размножаться сколько угодно раз. Старели ли эти клетки – вопрос дискуссионный, но совершенно ясно, что с каждым репродуктивным циклом, с каждым разделением старой клетки на две дочерние, «биологические часы» запускались заново. Обе дочерние клетки были молоды и здоровы.

Живые организмы ремонтируют и заменяют свои компоненты с потрясающей скоростью. Если в вашей машине каждый год заменять все запчасти, в теории вы сможете ездить на ней вечно. Как мы увидим, одноклеточные организмы именно так и работают. Закон энтропии при этом не нарушается, потому что Земля – не замкнутая система. Земля постоянно получает свет и энергию от Солнца. Ядерные реакции внутри Солнца генерируют энтропию с огромной скоростью, но живые организмы используют солнечную энергию, чтобы поддерживать себя и процветать. Не существует такого физического закона, который

утверждал бы, что организм не может жить и процветать бесконечно – по крайней мере, до тех пор, пока светит Солнце.

Подведем итог: существует целая категория теорий, которая пытается объяснить старение энтропией, описывая его в терминах усталости, износа, повреждений и накопления отходов. Эти теории содержат в себе зерно истины, но полного объяснения не дают. Некоторые клетки и организмы гибнут из-за энтропии, другие же – нет. Нужно смотреть глубже.

МЕДУЗА И БЕССМЕРТИЕ

Способность процветать и оставаться в живых сколь угодно долго – привилегия не только одноклеточных организмов. *Turritopsis dohrnii*, которую сейчас называют «бессмертной медузой», похоже, умеет обращать старение вспять. Это беспозвоночное животное умеет «стареть назад», до состояния простейшего. Ее часто называют «медуза Бенджамина Баттона». Впрочем, в отличие от литературного персонажа, эта медуза затем начинает снова стареть, и этот процесс может повторяться, насколько мы понимаем, бесконечное число раз.

Как утверждают авторы статьи 1996 года об этом феномене, медуза обладает «потенциалом для преобразования, равных которому нет во всем животном мире»¹. Позже в статье в *New York Times* писали, что это открытие «похоже, опровергает самый фундаментальный закон живого мира: вы рождаетесь, а потом умираете»².

Животные из рода гидр, похоже, тоже не стареют. Омары, конечно, не бессмертны, но с возрастом они становятся лишь все больше и плодовитее, избегая возрастных проблем, от которых страдает большинство многоклеточных организмов.

Медуза и гидра наносят еще один удар по энтропийной теории старения.

¹ Piraino, S., Boem, P., Aeschbach, B., et al. "Reversing the Life Cycle: Medusae Transforming into Polyps and Cell Transdifferentiation in *Turritopsis Nutricula* (Cnidaria, Hydrozoa)." *The Biological Bulletin* 190, no. 3(1996): 302-12.

² Rich, N. "Can a Jellyfish Unlink the Secret of Immortality?" *New York Times*, November 28, 2012.

Виталистская теория старения

Идея, что мы стареем, потому что «в нас что-то заканчивается», очень стара. Много веков назад ее называли витализмом; эту идею можно найти еще в трудах древних греков, в том числе Аристотеля, Гиппократ и Галена. Мы стареем, потому что что-то в нас – некая жизненная искра – держится лишь определенный промежуток времени, а потом мы умираем, потому что эта «искра» перестает гореть, и мы превращаемся в неживую материю.

В общем и целом эти объяснения называются гипотезами «скорости жизни». Самое очевидное из подобных объяснений – «гипотеза сердцебиения»: количество ударов сердца у каждого живого существа строго ограничено. Приближаясь к этому критическому пределу, вы стареете; достигая его, вы умираете. Эта теория частично объясняет одну из самых очевидных аномалий старения: не все организмы стареют с одинаковой скоростью. Считалось, что раз у небольших животных быстрее бьется сердце (или быстрее работает обмен веществ, или выше скорость дыхания), они стареют быстрее, чем крупные. С этой точки зрения собаки живут меньше, чем люди, оттого, что их сердца бьются быстрее.

Концепция жизненной силы (также называемой *elan vital*, жизненной искрой или просто душой) была в начале XX века просто отброшена наукой из-за дефективной логики (у клеток разве бьется сердце?) и отсутствия эмпирических доказательств. Но я все равно привожу здесь эту теорию, потому что общая идея – «старение происходит из-за того, что у нас в организме что-то заканчивается», – никуда не делась, пусть и приняла более современные формы.

Главное заблуждение в подобных рассуждениях – мы стареем, потому что в организме заканчивается какой-либо важный компонент (неважно, удары сердца, митохондрии или гормоны), – состоит в том, что сразу можно задать вопрос: а какова *причина* старения в данном случае? Если старение вызывается изменениями в митохондриях, что вызывает эти изменения? Если оно вызывается ограниченным количеством ударов сердца, то что управляет этим ограничением? Если бы старение вызывалось, допустим, тем, что ключевая эндокринная железа теряет жизненную силу, – что заставляет саму эту железу стареть?

Гормональная теория старения

Идея, что старение вызывается гормональным дефицитом, до сих пор довольно популярна. Самые ранние работы на эту тему появились в китайской медицине. В западной медицине отрасль эндокринологии – диагностика и лечение заболеваний, связанных с гормонами, – расцвела в XIX веке. Эндокринология быстро стала и основным направлением науки, и общепризнанным клиническим методом. Но, как и в случае со многими достижениями медицины, к сожалению, за этим последовали необоснованные заявления и выдача желаемого за действительное.

Самые эффективные заявления были связаны со старением в половой сфере. Их авторы использовали яички (или, реже, яичники) молодых животных; пациентам либо давали эти половые органы в пищу, либо приживляли, либо делали инъекции их экстрактов. Самым выдающимся лидером нового направления эндокринологии был Шарль-Эдуар Броун-Секар – всемирно знаменитый врач, практиковавший во Франции, Англии и США в середине XIX века. Он говорил, что «восстановил половые силы путем приема в пищу экстрактов обезьяньих яичек». Те из нас, кто придерживается шутивной рекомендации Марка Твена – съесть на завтрак живую лягушку, потому что ничего хуже в этот день уже не случится, – явно не были знакомы с подходом Броун-Секара к самосовершенствованию!

Правда оказалась даже страннее вымысла: появилась еще более причудливая антивозрастная терапия – пересадка яичек шимпанзе мужчинам (и обезьяньих яичников женщинам). Врач Сергей Воронов делал эти операции по всему миру; в 1930-х годах началась настоящая терапевтическая мания. Операции были настолько популярны, что французское правительство даже запретило охоту на обезьян в своих колониях; после этого Воронов пытался разводить обезьян специально для этих целей. Похожие эксперименты распространились и в США: там набрали популярность инъекции подкрашенной воды и пересадка козлиных яичек.

Даже сейчас многие верят, что тестостерон и эстрогены могут обратить старение вспять. В определенной степени эта идея основана на эмпирических данных: уровень этих стероидных гормонов действительно уменьшается с возрастом. У большинства мужчин уменьшение проходит постепенно; у большинства женщин оно более заметно и происходит после менопаузы.

Распространенное мнение – если уровни гормонов снижаются с возрастом, то гормональное замещение снова сделает меня молодым (молодой), – не только основано на плохой логике, но и опровергается медицинскими данными. Заявления о том, что гормонозамещающая терапия (ГЗТ) помогает некоторым людям почувствовать себя моложе, ничем не отличаются от заявлений вековой давности о том, что тот же эффект оказывают обезьяньи яички, рог носорога и подкрашенная вода.

ЦЕННОСТЬ ГОРМОНОВ РОСТА

На конференции в Марокко, посвященной проблемам старения, меня спросили, какую ценность для борьбы со старением представляет гормон роста. «Он, несомненно, ценен, – ответил я. – Правда, главная ценность – не в покупке гормона роста, а в его продаже. Он ничего не делает со старением, но рынок создан довольно обширный». Фармацевтическая компания, продававшая гормон роста, больше не приглашает меня на свои конференции.

Могут ли гормоны иногда иметь полезный терапевтический эффект? Да, безусловно. Могут ли гормоны замедлить, остановить или обратить вспять старение? Нет.

Митохондриальная (свободнорадикальная) теория старения

Возможно, самое широко известное объяснение старения – это митохондриальная (свободнорадикальная) теория, впервые опубликованная Денхамом Харманом в 1972 году. Свободные радикалы имеют естественное происхождение; это побочный эффект метаболизма, особенно метаболизма, происходящего в наших митохондриях. Как вы, возможно, помните из школьного курса биологии, митохондрии – это «энергетические станции» клеток. Подобно мощным ядерным реакторам, митохондрии вырабатывают большое количество энергии. И, опять-таки подобно ядерным реакторам, при этом возникает немало отходов.

Сжигая метаболическое топливо (например, глюкозу), наши организмы создают свободные радикалы – заряженные молекулы, которые нарушают работу других молекул. К счастью, подавляющее большинство свободных радикалов создаются внутри митохондрий и остаются там, вдали от важнейших молекул наших клеток и еще дальше от ДНК и наших генов, надежно спрятанных в ядре клетки. Но вот свободные радикалы, которым удается вырваться из митохондрий, повреждают сложные биологические молекулы в наших клетках – ДНК, мембранные липиды и важнейшие ферменты.

Митохондриальная (свободнорадикальная) теория весьма авторитетна. Некоторые из важнейших изменений, происходящих в стареющих клетках, непосредственно вызываются свободными радикалами и повреждениями, которые они наносят. Когда наши клетки стареют, происходят четыре важных изменения, связанных со свободными радикалами: в их производстве, улавливании, уборке и ремонте.

ОТЕЦ СВОБОДНОРАДИКАЛЬНОЙ ТЕОРИИ

Денхам Харман, «отец свободнорадикальной теории» и первый сторонник митохондриальной теории старения, был выдающимся человеком. (К сожалению, он умер в ноябре 2014 года.) Он родился почти век назад, получил степень кандидата наук, затем заинтересовался причинами старения, получил второе высшее образование, стал доктором медицины в Стэнфорде, а потом всю оставшуюся жизнь проработал профессором медицины, пытаясь понять и объяснить старение человека. В 1970 году он помог основать Американскую ассоциацию антистарения (AGE). В 1985 году Харман основал Международную ассоциацию биомедицинской геронтологии (IABG). Работая с Денхамом в советах директоров AGE и IABG, я видел, как он мог часами прислушиваться к мыслям окружающих – даже менее знающих и мудрых – с бесконечной вежливостью и терпеливостью. Лишенный всякого высокомерия, Харман был заботливым, добрым, уважаемым и даже обожаемым в отрасли борьбы со старением.

Первое изменение – рост *производства* свободных радикалов. Молодые митохондрии производят меньше свободных радикалов и много энергии. В старых клетках, однако, на единицу произведенной энергии приходится больше свободных радикалов. А чем больше появляется свободных радикалов, тем больше и повреждений.

Второе изменение – *улавливание*. Большему количеству свободных радикалов удается «сбежать» из митохондрий в другие части клетки, в том числе в ядро. Это происходит, потому что липидные мембраны, из которых состоят стенки митохондрий, с возрастом становятся все «дырявее».

Третье изменение связано с *уборкой*. В молодых клетках уборщики свободных радикалов эффективно захватывают свободные радикалы. В старых клетках вырабатывается меньше уборщиков, так что свободных радикалов остается больше, и они наносят более значительный урон.

Четвертое изменение состоит в том, что старые клетки менее способны *ремонтировать* повреждения, нанесенные свободными радикалами, так что стареющие клетки не только получают больше повреждений от свободных радикалов – из-за повышенного их производства и проблем с улавливанием и уборкой, – но и медленнее ремонтируют эти повреждения. (В случае с ДНК замедляется скорость ремонта; в случае со всеми остальными молекулами замедляется скорость замены.)

Эти процессы создают замкнутый круг. Все четыре процесса – производство, улавливание, уборка и ремонт – взаимосвязаны, и в результате стареющие клетки начинают функционировать все хуже и хуже.

Считать этот лавинообразный процесс метаболических повреждений *причиной* старения, конечно, очень заманчиво, но на самом деле подобные выводы ничем не обоснованы. Свободнорадикальная теория, конечно, весьма элегантна, и с ней согласна широкая публика, но эта теория страдает от одной важной проблемы: она объясняет многое из того, что происходит при старении клетки, но не объясняет *причины* всех этих изменений. *Почему* эти четыре процесса – производство, улавливание, уборка и ремонт – меняются с возрастом? Из-за чего эта лавина вообще сходит с горы?

В некоторых клетках, например, человеческих гаметах (половых клетках), подобных изменений не наблюдается, несмотря на непрерывную линию наследования, уходящую на несколько миллиардов лет назад. Почему же свободным радикалам хватает нескольких лет, чтобы необратимо повредить одни клетки, а вот с половыми клетками или одноклеточными организмами они ничего не могут сделать в течение миллиардов лет?

Более того, уничтожение свободных радикалов (если такое в принципе возможно) стало бы катастрофой. Нам *необходимы* свободные радикалы, чтобы выжить: мы используем их для модулирования экспрессии генов и убийства микробов. Если мы уменьшим концентрацию свободных радикалов в здоровых клетках, то изменятся паттерны экспрессии генов, и клетка станет менее функциональной. Наша иммунная система использует свободные радикалы в высокой концентрации, чтобы атаковать «непрощенных гостей» организма, например, бактериальные инфекции. Свободные радикалы, возможно, и являются одной из движущих сил процесса старения, но вместе с тем они играют и нормальную, полезную роль в нашей физиологии.

Когда мы пытаемся замедлить старение, влияя на свободные радикалы, результаты получаются в лучшем случае неоднозначные. Есть немало хороших работ, которые говорят, что мы можем увеличить среднюю продолжительность жизни лабораторных животных, минимизируя повреждения клеток свободными радикалами, но нет никаких доказательств того, что с помощью манипуляций со свободными радикалами можно увеличить максимальную продолжительность жизни.

Кстати, тот же аргумент применим и к дискуссиям об окислителях и антиоксидантах. В живых организмах окисление – это часть процесса пищеварения. Окисление – это процесс, при котором кислород вступает в реакцию с молекулами, производя двуокись углерода и воду и выделяя энергию. Многие склонны верить, что окисление – это еще одна причина старения, но в реальности все сложнее. Мы не просто не можем выжить без окисления (и кислорода!) – нет вообще никаких доказательств, что антиоксиданты как-то влияют на процесс старения. Как и в случае со свободными радикалами, избыточное неконтролируемое окисление, безусловно, вызывает проблемы, но производство свободных радикалов и окис-

ление – неотъемлемая часть нашего обмена веществ. И ни то, ни другое не является настоящей движущей силой старения.

Мы не сможем сказать, что объяснили процесс старения, до тех пор, пока с помощью этого объяснения не получится предсказать, какие митохондрии, клетки и организмы *будут* стареть, а какие – *не будут*. Митохондриальная свободнорадикальная теория старения отлично исполняет описательную функцию, но вот предсказательной не является.

Диетическая теория старения

Говорить о существовании некой особой «диетической теории старения» – это, возможно, преувеличение, но о продлении жизни с помощью диеты написано множество книг и статей.

Перед этой книгой, конечно, не стоит задача опровергнуть миллионы слов, высказанных на эту тему, но вот подвести краткий итог на основании современных научных данных я могу. Безусловно, существуют доказательства того, что плохой рацион питания приводит к заболеваниям, а хороший может эти заболевания предотвратить, но нет никаких доказательств того, что даже самая хорошая диета может остановить старение или обратить его вспять.

ДИЕТИЧЕСКИЕ МИСТИФИКАЦИИ

История полна рассказов о людях, которые прожили невероятно долгую жизнь, потому что правильно питались. Марко Поло, например, познакомился с индийскими йогами, которые рассказали ему, что живут по 150–200 лет, питаясь лишь рисом, молоком, серой и – невероятно пренебрегая и своим здоровьем, и нашим доверием – ртутью! Выяснить, кто кого обманывал – йоги Марко Поло или же Марко Поло всех нас, – так с точностью и не удалось. В любом случае это всего лишь один из сотен исторических примеров, когда рассказы о невероятно долгой жизни подкрепляются не особым питанием, а нашим врожденным доверчивым оптимизмом.

Старение – это не болезнь, связанная с питанием. Неважно, сколько мы едим и насколько здоровую пищу: никакие манипуляции с диетой не смогут остановить или обратить вспять процесс старения.

В 1934 году, впрочем, Мэри Кроуэлл и Клайв Маккэй из Корнелльского университета обнаружили, что с помощью строгого ограничения калорий ожидаемую продолжительность жизни лабораторных крыс удается продлить вдвое. Точных данных по людям или другим приматам нет до сих пор, но есть причины считать, что значительное ограничение калорий действительно может значительно продлить человеческую жизнь. (А если и не может, то, по крайней мере, жизнь покажется длиннее.)

Даже несмотря на все это, нет никаких доказательств того, что ограничение калорий может остановить или отключить процесс старения. Многие ученые считают, что люди, ограничивающие калорийность принимаемой пищи, – это на самом деле не «экспериментальная», а «контрольная» группа. Они указывают на то, что животные (и люди) эволюционировали таким образом, чтобы преуспевать на низкокалорийной диете. В природе калории достать довольно трудно. Мы эволюционировали таким образом, чтобы выживать без особой еды, а сейчас, благодаря достижениям современного общества, мы погребены под изобилием еды и не в состоянии контролировать свой прием пищи. С этой точки зрения чудом является не то, что мы живем дольше, если едим меньше, а то, что нам вообще удается выживать на фастфуде, малопитательной еде и изобилии «пустых» калорий, типичных для рациона жителей развитых стран.

Генетическая теория старения

Во второй половине XX века стало модно объяснять мир через генетические термины, отбрасывая практически все остальные точки зрения. Сейчас мы практически смирились с идеей, что все – от сердечно-сосудистых заболеваний до болезни Альцгеймера, от остеоартрита до старения – вызывается определенными генами.

Генетические объяснения, конечно, очень сильны, но к ним нужно обращаться с большой осторожностью: слишком часто они просто неверны.

Иногда делается простое предположение: гены – причина всех болезней, в том числе старения. Но у идеи «генов старения» есть две очень большие проблемы.

Первая проблема: большинство характерных черт организма (например, рост), болезней (например, атеросклероз) и сложных изменений (например, старение) невозможно свести к одному гену или даже небольшому количеству генов. Несомненно, гены, коррелирующие со всем вышеперечисленным, существуют, но идеи, что один или несколько *вызывают* какое-то конкретное сложное явление, очень редко верны и обычно наивны. Например, если говорить о росте, мы знаем, что на то, насколько высокими вы вырастаете, влияют гены, факторы окружающей среды и эпигенетические факторы (наследуемые свойства, не являющиеся частью последовательности ДНК). Нет никакого единственного «гена роста», который определяет ваше телосложение.

Вторая проблема: гены не так важны, как их *экспрессия* – эпигенетика. Из-за нашего узкого взгляда на гены мы обычно не замечаем всей ее важности. В начале XX века, например, некоторые биологи считали, что в пальцах ног у нас совсем не такие гены, как на носу. Но это, конечно, неверно: гены в любой части нашего тела абсолютно одинаковы. Разница между типами клеток – не в генах, а в паттернах экспрессии генов – эпигенетических паттернах. Нет специальных генов пальцев ног – только паттерн экспрессии генов, в результате которого вырастает палец ноги. Во всех обнаруженных типах клеток и тканей есть свои паттерны экспрессии. Для аналогии представьте себе симфонический оркестр, который с одинаковым успехом умеет играть Моцарта, блюз и, скажем, Grateful Dead: разница не в инструментах, а в нотах, которые дали оркестрантам. Как ни странно, разница между клетками пальца ноги и носа точно такая же, как между молодой и старой клеткой: гены в них одинаковые, а вот паттерн экспрессии разный. Между моими клетками в возрасте шести и шестидесяти лет разница не генетическая, а эпигенетическая. Так что охота за «генами старения» – безнадежное дело.

Регулярно ученые находят все новые «гены старения», демонстрируя отсутствие проницательности и понимания. Безусловно, существуют конкретные гены и аллели³, которые чаще встречаются у людей, проживших недолго, а также гены и аллели, которые чаще встречаются у долгожителей, но называть их «генами старения» было бы неверно.

Как мы увидим позже, точно так же неверно понимают и болезни, связанные с возрастом. Каждый год мы с радостью обнаруживаем очередную горстку генов, якобы вызывающую болезнь Альцгеймера или атеросклероз. Снова и снова данные просто показывают не причинно-средственную связь, а корреляцию, причем слабую. Один ген, как говорят, отвечает примерно за 1 % всех случаев болезни Альцгеймера, другой ген – еще за 2 %, так что довольно много случаев остается необъясненными. Подразумевается почему-то всегда одно

³ Аллель – это альтернативная форма гена. У гена, определяющего цвет глаз, например, есть аллель для голубых и карих глаз.

и то же: когда-нибудь нам удастся идентифицировать и гены, отвечающие за остальные 97 % случаев болезни Альцгеймера, если нам дадут достаточно денег на исследование. К сожалению, поиск генов, *вызывающих* болезнь Альцгеймера, – примерно такое же безнадежное занятие, как и поиск генов, *вызывающих* старость.

Проблема состоит не в том, что нам не хватает финансирования или ученых, а в том, что мы до сих пор по-настоящему не понимаем роли генов в основных процессах, связанных со старением и возрастными заболеваниями, а также того, как паттерны экспрессии генов меняются с возрастом. Другими словами, все очень напоминает анекдот о человеке, который потерял ключи на темной улице: мы ищем возле фонаря, потому что при свете искать лучше, хотя на самом деле ключи мы потеряли в темном переулке в квартале отсюда. Мы ищем гены старения, потому что их легко идентифицировать, просто объяснить, а в нынешнем научном климате под них легче выбить себе финансирование.

К сожалению, когда речь заходит о старении и возрастных заболеваниях, настоящие причины нужно искать не в генах, а в паттернах экспрессии генов.

Слепцы и слон

Мы посмотрели на старение с нескольких точек зрения: свободные радикалы, митохондрии, питание, гормоны, усталость и износ, генетика, клеточная биология и так далее. Каждый взгляд настолько отличается от всех остальных, что кажется, что они просто не могут быть все верны.

В этой ситуации уместно будет в качестве аналогии вспомнить классическую историю о слепцах и слоне. Шестерых слепцов попросили описать слона. Первый слепец ощупал ногу и сказал, что слон – это колонна. Второй ощупал хвост и сказал, что слон похож на веревку. Третий ощупал хобот и сказал, что слон похож на змею. Четвертый ощупал ухо и сказал, что слон похож на веер. Пятый ощупал ребра и сказал, что слон похож на стену. Наконец, шестой ощупал бивни и сказал, что слон похож на дудочку. Каждый из них точно описал свою часть слона, но никто из слепцов и близко не подошел к описанию слона целиком.

Каждая из различных теорий старения, описанных мной, до определенной степени достойна доверия, но все они неполны. Ни одной из них не удалось описать «слона» целиком. Словно слепцы, наши ученые дали точные описания тех частей процесса старения, которые изучали. Каждая из этих теорий основана на точных и достоверных данных, но никто из нас не смог описать процесс старения целиком. Мы были честны, умны, у нас были хорошие намерения, но никто из нас не смог объединить все данные в единственное корректное объяснение того, как все-таки работает процесс старения.

Как же нам объединить все это в целого «слона»?

Я профессор медицины, так что смотрел на старение в первую очередь с точки зрения медицинского вмешательства: есть ли способ предотвратить или вылечить возрастные заболевания? Может быть, если нам удастся по-настоящему понять механизмы старения, то мы сможем вылечить болезнь Альцгеймера, атеросклероз и другие связанные со старостью заболевания, с которыми я каждый день сталкиваюсь в своей медицинской практике.

С 1980 года я не только веду курсы по биологии и старению, но и работаю исследователем, а также лечу людей преклонного возраста.

Кроме того, я немало времени посвятил работе с детьми, демонстрирующими симптомы раннего старения. Дети с прогерией Гетчинсона – Гилфорда (часто ее называют просто «прогерией») умирают от старости примерно в 13 лет. Эти дети не просто выглядят старыми: их клетки на самом деле старые. Они умирают от заболеваний, которые мы считаем возрастными, – чаще всего от инсультов и инфарктов. Одно дело – знать семидесятилетнего дедушку, который умер от сердечного приступа в саду, бросая мячик внуку, и совсем другое – знать семилетнего мальчика, который *выглядел* как семидесятилетний и умер от сердечного приступа, играя в салочки с молодой мамой. Это несообразное явление – ребенок, умирающий от «болезней старости», – оставляет глубокое впечатление.

Теломеры – это структуры ДНК на концах хромосом, которые укорачиваются с каждым делением клетки. В 1992 году мы обнаружили, что дети с прогерией рождаются с короткими теломерами. Их теломеры – такие же, как у людей в возрасте за семьдесят. Это открытие, а также некоторые другие, ясно показало, что старение – у нормальных людей, у детей с прогерией, в клетках, в других организмах – тесно связано с теломерами. Но нам были известны и другие вполне обоснованные теории, поддержанные достоверными данными. Как мы могли объединить наши растущие знания о теломерах и старении клеток с этими теориями?

Проблема состояла в точке зрения.

Теорий много, данных и вовсе огромное количество, но всегда находились такие, которые просто не вписывались в единую связную картину, описывающую процесс старения. Можно сказать, перед нами лежала тысяча деталей сложной машины, и у нас было несколько

десятков идей о том, как же ее собрать, но у каждого, кто пытался собрать из этих деталей функционирующее устройство, неизменно оставалось несколько лишних запчастей. Хуже того, машина *так ни разу и не заработала*.

У меня случилось прозрение, когда я в начале 90-х посетил конференцию по проблемам старения в Лейк-Тахо, штат Калифорния. Я собирался поехать туда, послушать доклады с новейшей информацией и дополнить новое издание учебника, посвященного старению.

Некоторые точки зрения, представленные на конференции, были чуть ли не диаметрально противоположными. Там были лекции о свободных радикалах, эволюции и других гранях проблемы; я потратил немало времени, работая «переводчиком» для окружающих. Ученые плохо разбирались в общепринятой медицинской терминологии («Что такое нестероидное противовоспалительное средство?»), а врачам, в свою очередь, оказалась незнакомой терминология исследовательская («Что такое Саузерн-блот?»). Поскольку я принадлежу сразу к обоим лагерям, то мне часто приходилось помогать с объяснениями разных точек зрения. Иногда мне даже казалось, что моей задачей на конференции было объяснять слепцу, держащемуся за ногу слона, почему слепец, держащийся за хвост, тоже прав.

В середине конференции Кел Харли, клеточный биолог, с которым я сейчас дружу, прочитал лекцию по последним работам о теломерах и старении клеток. Он сказал, что если знать возраст клетки и длину, на которую уменьшились теломеры в клетке, то эти числа идеально пропорциональны. Зная одно число, вы знаете и другое.

Буквально за несколько минут все, что я знал как профессор медицины, и все, что я преподавал студентам, перекристаллизовалось по совершенно новому шаблону. Я увидел, как все точки зрения, даже самые противоположные и противоречивые, объединяются в ясную, четкую картину.

СТАРЫЕ ДЕТИ: ТРАГИЧЕСКАЯ ПРОГЕРИЯ

В любой год на нашей планете можно найти несколько десятков детей с прогерией, многих из которых я знаю лично. Обычно родители приводят таких детей к врачу, когда замечают, что они растут не как обычно. Поскольку этот синдром редок и сравнительно неизвестен многим педиатрам, детям очень повезло, что их врачи распознали симптомы и сообщили о них нам.

В начале XXI века нам нечего было предложить этим детям и их родителям, кроме доброты и понимания, что есть и другие люди, которые тоже страдают от такого недуга или понимают их трагедию. Одни родители спрашивали других родителей, как те справляются с постоянными проблемами со здоровьем, и говорили с нами о том, что мы знаем, — а знали мы слишком мало. Раз в год мы собирали детей с прогерией со всего земного шара вместе; дети ждали этого дня с особым нетерпением. То были единственные моменты в их коротких жизнях, когда они выглядели точно так же, как и все остальные дети вокруг них.

Как ни странно, дети с прогерией обычно больше всего похожи друг на друга, а не на кого-либо еще. У одной вьетнамской девочки черты лица были скорее прогерическими, нежели азиатскими. Она была намного больше похожа на других детей, чем на своих родителей. На наших ежегодных собраниях дети — лысые, с набухшими венами и артритом в суставах — играли и шутили, радуясь, что наконец-то — в очень странном, но понятном для всех смысле — попали домой.

Я понял, что смотрю на всего «слона» целиком.

Чем больше я размышлял, тем больше понимал, как хорошо все сходится. Вместо многочисленных теорий, содержавших лишь часть полного ответа, я увидел очертания единой

теории, в которой все наши данные и точки зрения четко объясняют, *и* как мы стареем, *и* где в этот процесс можно вмешаться. Я увидел, как можно проверить эту теорию, чтобы доказать, корректна она или некорректна. А еще я увидел, как с помощью этой новой теории можно зайти намного дальше.

Я понял, как можно вылечить возрастные заболевания.

Глава вторая

Теломерная теория старения



Теломерная теория старения гласит, что старение клеток, контролируемое теломерами, приводит к старению всего организма. Более точным названием, наверное, было бы «теория одряхления клеток» или «эпигенетическая теория старения». Ограниченная теория старения – то, что теломеры контролируют старение клеток, – хорошо известна, но вот общая теломерная теория старения – что старение клеток вызывает старение организма, – еще не является общепринятой.

В 90-х годах, когда я только начал говорить о теломерной теории, мне казалось, что я нахожусь в почти полном одиночестве. Хотелось бы, конечно, сказать, что научное сообщество в едином порыве бросилось опровергать мою теорию, но по большей части ее просто игнорировали.

Впрочем, сейчас, в начале 2015 года, когда я пишу эти строки, теломерная теория старения стала ведущей, хотя многие ученые до сих пор приняли ее не полностью. По моим оценкам, с ней согласна примерно половина экспертов в нашей отрасли. Что больше всего радует, молодые ученые гораздо чаще считают эту теорию непротиворечивой.

Теломерная теория старения выдвинулась на ведущие роли благодаря пяти важнейшим вещам.

- # Она ясно объясняет механизм, который вызывает старение на клеточном уровне.
- # Она объясняет, почему одни клетки стареют, а другие – нет.
- # Она включает в себя доказанные элементы других различных теорий старения.
- # Она способна успешно ответить на разнообразные возражения против теории.
- # И, что, наверное, важнее всего, она прокладывает ясный путь для врачебного вмешательства: мы говорим уже не о теории, а о «дорожной карте» конкретных действий, которые улучшат наше здоровье.

Лимит Хейфлика и клеточные основы старения

В первой половине XX века общепринятая идея состояла в том, что клетки бессмертны, а старение – это процесс, происходящий где-то *между* клеток. Никто не представлял себе, что вообще такое может быть «между клеток», но рассуждения были вполне логичными. Поскольку одноклеточные организмы, насколько можно видеть, не стареют, а многоклеточные – совершенно очевидно стареют, это значит, что что-то происходит на межклеточном, а не внутриклеточном уровне, правильно?

Этот взгляд поддерживала работа Алексиса Карреля, которая с виду доказывала бессмертие клеток. Каррель был очень уважаемым французским хирургом и биологом, но при этом весьма противоречивой личностью. Каррель был ревностным католиком; по его словам, в 1902 году он наблюдал чудесное исцеление умирающей женщины в Лурде. После этого Каррелю пришлось покинуть Францию, потому что из-за антиклерикальных настроений французского ученого общества ему не удалось найти работу. Он перебрался в Халловскую лабораторию в Чикаго; именно там он и провел свои опыты по сшиванию кровеносных сосудов и пересадке сосудов и органов, благодаря которым получил Нобелевскую премию.

В 1912 году Каррель провел свои знаменитые эксперименты с куриным сердцем. Он вырастил в лаборатории клетки куриного сердца, каждый день добавляя питательный бульон и тщательно замеряя деления клеток. Месяц за месяцем в течение 34 лет Каррель и его коллеги наблюдали за клетками, но так и не заметили признаков старения. Клетки, похоже, делились вечно, без замедлений, без остановок, без каких-либо ошибок. Если он был прав, значит, клетки действительно бессмертны.

Теорию Карреля никто не оспаривал в течение десятилетий.

Лишь много позже в экспериментальной процедуре Карреля обнаружилась серьезнейшая ошибка. Ежедневный питательный бульон, о чем Каррель не знал, содержал молодые сердечные клетки.

Естественно, при постоянном добавлении молодых клеток клеточные культуры процветали. Но без ежедневного добавления молодых сердечных клеток культура Карреля бы очень быстро умерла.

Каррель и его коллеги могли действительно ничего не знать о своей ошибке, хотя некоторые и сомневаются в их честности. К сожалению, их работа имела далеко идущие последствия для всей биологии. Дело не только в том, что целое поколение верило их ошибочным результатам: эта ошибка даже век спустя еще влияет на некоторые аспекты биологической теории и приводит к разным предрассудкам.

Чтобы теорию Хейфлика наконец приняли, понадобилось прождать 15 лет и вытерпеть немало презрения. Сам Хейфлик сказал в интервью The Lancet в 2011 году: «Торпедировать общепринятый в течение полувека взгляд очень непросто – даже в науке»⁴.

Ошибку Карреля обнаружил в начале 60-х годов Леонард Хейфлик, профессор анатомии из Калифорнийского университета в Сан-Франциско. Хейфлик и его коллеги попытались воспроизвести работу Карреля. Несмотря на все попытки, Хейфлику и команде так и не удалось получить бессмертную линию клеток. Вскоре они поняли, в чем же ошибся Каррель. Команда Хейфлика, в отличие от команды Карреля, была очень аккуратна и старалась не привносить в культуру новые клетки. Они обнаружили, что клеточные линии одинаково

⁴ Watts, G., "Leonard Hayflick and the Limits of Ageing." Lancet 377, no. 9783 (2011): 2075.

стареют после фиксированного количества делений и в конце концов теряют способность делиться.

С неким трепетом – и на фоне сильнейшего недоверия своей ученой аудитории – они опубликовали свою работу. Все, кто пытался повторить их эксперимент, тщательно исключая добавление каких-либо новых клеток, получили те же результаты. Каррель был неправ. Клетки стареют.

На основе работы Хейфлика и его команды появилось понятие «предел Хейфлика». Если проще, то эта теория утверждает, что большинство клеток может делиться лишь фиксированное число раз (большинство человеческих клеток – от 40 до 60), и скорость деления постепенно уменьшается, пока клетки не становятся покоящимися и неспособными к дальнейшему делению. Иными словами, клетки стареют не из-за того, что проходит время: старение клеток вызывается делением. Хейфлик назвал ядро клетки ключевым компонентом клеточного старения: оно контролировало так называемые «клеточные часы».

Я очень рад сказать, что доктор Хейфлик был моим другом более 30 лет. Хейфлик не терпит глупцов, но он очень честен и один из самых смелых людей, известных мне. Кроме того, он один из наиболее выдающихся ученых в истории: ему в одиночку удалось перевернуть господствующую более 50 лет догму о старении.

Что интересно, у разных биологических видов и даже типов клеток предел Хейфлика разный. Между продолжительностью жизни и лимитом Хейфлика существует корреляция, но она неточная – скорее просто наводящая на мысли, чем безусловная. Мыши живут три года, а их лимит Хейфлика составляет 15 делений. У галапагосских черепах, живущих 200 лет, лимит Хейфлика равен примерно 110 делениям. У человеческих фибробластов лимит Хейфлика составляет от сорока до шестидесяти делений⁵.

Существование лимита Хейфлика сильно изменило понимание клеточного старения. Он говорит о том, что старение происходит *внутри* клеток, а не *между* ними. Не существует таинственной субстанции или действующего во всем организме процесса, служащего движущей силой старения. У этой идеи есть и эмпирические доказательства, основанные на экспериментах и наших познаниях о человеческих болезнях. Клетки, которые не делятся, не демонстрируют никаких признаков клеточного старения, а вот в клетках, которые делятся, вне зависимости от того, сколько прошло времени, «возраст» определяется количеством делений клетки, а не временем ее жизни⁶. Как и многие другие клетки⁷ в нашем организме, сосудистые клетки в коронарных артериях и глиальные клетки мозга делятся, длина их теломер уменьшается, и начинаются возрастные изменения; именно они вызывают болезни сердца и нейронов мозга. Мышечные клетки сердца и нейроны в мозге не стареют, но они зависимы от других клеток, которые стареют, и, когда это происходит, мы начинаем болеть. Старение происходит в клетках, которые делятся, и вызывает болезни в других клетках, которые, возможно, вообще не делятся – или не стареют.

Старение клеток – сейчас уже общепринятая идея, но со временем мы стали соглашаться и с более общей моделью: клеточное старение вызывает возрастные заболевания и старение самого тела. Если ваши клетки молоды, то вы молоды. Если ваши клетки стары, вы стары. Старение – это продукт клеточного одряхления. Все настолько просто – и настолько же сложно. Подразумевается, что если вам каким-либо образом удастся не позволить клеткам стареть, то вы будете вечно молоды. Но многим очень трудно принять эту идею – даже моему другу Хейфлику.

⁵ На самом деле предел Хейфлика зависит от того, клетки какого типа мы рассматриваем. В случаях, приводимых здесь, речь идет о пределе Хейфлика для фибробластов – клеток, типичных для практически любого живого организма.

⁶ Hayflick, L. "When Does Aging Begin?" *Research on Aging* 6, no. 99 (1984): 103.

⁷ Takubo, K. et al. "Telomere Lengths Are Characteristic in Each Human Individual." *Experimental Gerontology* 37, (2002): 523-31.

Я много раз слышал речи Хейфлика о клеточном старении и его связи со старением человека. Он обычно начинает лекцию со слов, что мы не можем остановить процесс старения, не говоря уж о том, чтобы обратить его вспять. Обычно он использует аналогию со старым спутником, летящим по Солнечной системе: он накапливает повреждения от пыли и космических лучей и «стареет», и постепенно его тонкая аппаратура перестает работать.

– Люди, – говорит он, – похожи на спутники. Они тоже получают повреждения и стареют, и это невозможно изменить.

Затем он объясняет собственную работу, стараясь сделать все, чтобы аудитория поняла механизмы – и ограничения – одряхления клеток и так называемого «репликометра», который содержится в наших клетках: он измеряет количество делений и вызывает клеточное старение.

Несмотря на весь свой скептицизм, Хейфлик часто заканчивает лекции на оптимистической ноте, предполагая, что у нас все-таки есть возможность как-то справиться с проблемами, вызываемыми возрастом.

«Репликометром» Хейфлика, как мы теперь знаем, служат теломеры. А возможность смягчить проблемы старения содержится в ферменте под названием теломераза, который влияет на укорочение теломер.

И – да, современные исследования говорят, что если мы сможем изменить длину теломер, то, возможно, сможем замедлить старение или даже обратить его вспять.

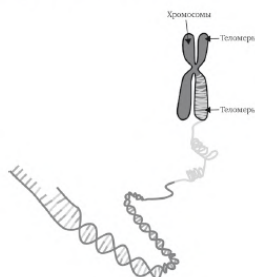
Теломеры, теломераза и клеточное старение

Теломеры впервые обнаружил и назвал американский генетик Герман Меллер в 1938 году; он образовал название от греческих слов *telos* («конец») и *meros* («часть»). Через два года цитогенетик Барбара Мак-Клинток описала функцию теломер: они защищают концы хромосом в некоторых клетках многоклеточных организмов. Позже за свою работу Мак-Клинток получила Нобелевскую премию.

Теломеры – это последние несколько тысяч пар оснований (нуклеотидов)⁸ на концах хромосом. Их часто сравнивают с пистончиками, твердыми пластиковыми наконечниками шнурков на обуви. Все теломеры состоят из специфической повторяющейся последовательности оснований: ТTAGGG (тимин, тимин, аденин, гуанин, гуанин, гуанин), которая лишь тривиальным образом отличается (если отличается вообще) у разных биологических видов. Поскольку эти последовательности не кодируют белков, их часто считают «мусорной ДНК». Но это ошибочное отношение к их важнейшей функции. Теломера представляет собой лишь малую часть хромосомы, но ее роль ни в коем случае нельзя недооценивать.

Хотя тогда этого никто не понимал, но следующий важнейший теоретический шаг к пониманию роли теломер сделал российский ученый Алексей Оловников в 1971 году. Оловников, который жил (и до сих пор живет) в небольшой квартире в Москве, однажды ехал на метро, и его поразило сходство между хромосомами и поездами метро. Он задумался о том, как копируются хромосомы во время деления клетки, и понял, что там есть определенная проблема.

ХРОМОСОМЫ — ЭТО ПАРНЫЕ НИТИ ДНК,
ИМЕЮЩИЕ ФОРМУ ДВОЙНОЙ СПИРАЛИ



Клетка использует ферменты, называемые ДНК-полимеразами, чтобы копировать ДНК, из которой состоит хромосома. Но этим ферментам приходится «держаться» за часть старой хромосомы, когда она начинает копировать гены, так что ДНК-полимераза не может воссоздать часть хромосомы, которая находится прямо «под» ней: точно так же с помощью вагона метро можно прокладывать новые рельсы в туннеле, но вот прямо под собой он рельсы положить не может.

Представьте, что кто-то с помощью переносного сканера пытается скопировать вас. Он крепко хватается за руку, потом начинает водить сканером от головы до пяток. Но вот если он попытается скопировать вашу руку, то ему придется вас отпустить, и вы сбежите. Если ДНК-полимераза «отпускает» часть хромосомы, за которую схватилась, чтобы скопировать ее, хромосома просто уйдет.

⁸ Эти основания, или нуклеотиды, являются генетическими «буквами», которыми записываются гены в наших хромосомах. В ДНК всего четыре «буквы» – Т, А, G и С, – но их достаточно, чтобы записать абсолютно все наши гены.

Поскольку ДНК-полимераза может копировать только в одном направлении и должна всегда держаться за маленькую часть хромосомы, она не может вернуться и скопировать пропущенные нуклеотиды.

Внезапное озарение Оловникова оказалось абсолютно верным. Во время репликации копируется большая часть хромосомы, но не вся: маленькая часть всегда теряется. Каждый раз при копировании хромосома становится чуть короче. Как оказалось, фермент при копировании хромосомы как раз держится за теломеру. Поскольку часть теломеры, за которую «держится» ДНК-полимераза, невозможно скопировать, новая теломера становится чуть короче исходной. Когда вы молоды – точнее, когда ваши клетки молоды, – длина теломеры составляет примерно 15 тыс. спаренных оснований. Когда клетки теряют способность делиться, длина теломеры сокращается примерно до 8 тыс. оснований. Оловников предположил, что укорочение теломер – это механизм, благодаря которому существует лимит Хейфлика.

В то же время Оловников знал, что некоторые клетки никогда не стареют. В их числе – одноклеточные организмы, гаметы и большинство раковых клеток. Значит, все-таки существует какой-то способ «вернуться назад» и скопировать конец хромосомы, который в первый раз пропустили. Фермент, который помогает клетке «вернуться» и заново удлинить теломеру, называется теломеразой. Он позволяет некоторым типам клеток восстановить первоначальную длину теломер, чтобы эти клетки могли и дальше ремонтировать себя и размножаться бесконечно. Они укорачиваются с каждым делением только в клетках, не выделяющих теломеразу (то есть в большинстве соматических клеток).

Доказательство существования теломеразы нашли в 80-х годах (тогда же фермент получил свое название). Ученые из Калифорнийского университета в Беркли Элизабет Блэкберн и Кэрол Грейдер изолировали фермент в ресничной инфузории тетрахимене – организме, похожем на очень маленькую и хрупкую медузу⁹.

ОЛОВНИКОВ В МИЧИГАНЕ

Алексей Оловников родился в 1936 году. В советское время за пределы страны он выезжал всего один раз – ездил в короткую командировку в ГДР. В конце 90-х он полетел из Москвы в Нью-Йорк, а потом в Мичиган, где я пригласил его на ужин к себе домой. Я встретил Алексея в аэропорту; по пути мы заехали в супермаркет, где его потрясло изобилие и разнообразие. Наш дом нельзя назвать шикарным, но мы чувствовали себя немного виноватыми из-за того, что американский образ жизни выглядел сравнительно роскошным. Когда я жарил мясо на гриле, началась гроза, и в доме внезапно отключили свет и воду. Пока я искал и зажигал свечи, а моя жена отчаянно пыталась в темноте спасти наш ужин, Алексей взглянул на меня из-за стола и сказал с сильным русским акцентом: «Знаешь, Майкл, не так у вас тут все и отличается от Москвы...»

Вместе с профессором из Гарвардской школы медицины Джеком Шостаком они в 2009 году получили Нобелевскую премию по медицине и физиологии за свои работы по теломеразе. Оловников в число лауреатов не попал.

Несмотря на очевидную корреляцию между длиной теломер и старением клеток, вопрос о причинно-следственной связи оставался открытым до 1999 года, когда в лаборатории удалось показать, что удлинение теломер останавливает старение клеток¹⁰. До этого все предположения, что теломеры играют главную роль в развитии возрастных болезней, немед-

⁹ Takubo, K. et al. – "Telomere Lengths Are Characteristic in Each Human Individual." *Experimental Gerontology* 37,120021: 523-31.

¹⁰ Shetton, D.N. et al. "Microarray Analysis of Replicative Senescence." 939—45.

ленно отменялись. Отчасти – потому, что данных, доказывающих причинно-следственную связь, было мало, отчасти – потому, что связь между укорочением теломер и старением клеток еще плохо понимали, отчасти – потому, что даже ученым бывает трудно принять радикально новую идею. В случае со старением нам пришлось медленно пересматривать все, что мы знали до этого.

СОМАТИЧЕСКИЕ КЛЕТКИ И ГАМЕТЫ

Все ткани животных и растений состоят из соматических клеток, за исключением половых клеток – гамет. У людей это сперматозоиды (у мужчин) и яйцеклетки (у женщин). Большинство соматических клеток не производят теломеразу, так что с каждым делением их теломеры укорачиваются. Исключение составляют стволовые и раковые клетки: они производят теломеразу, которая поддерживает длину теломер, несмотря на постоянное деление клеток.

Экспрессия генов влияет на то, как в клетках с помощью хромосом производятся белки и другие ключевые молекулы. У молодых клеток – «молодой» паттерн экспрессии генов, а у старых клеток – «старый» паттерн. Каждое укорочение теломер замедляет скорость экспрессии генов. В результате скорость ремонта ДНК и восстановления молекул замедляется, так что ДНК и другие молекулы – белки, молекулы липидных мембран и прочие «строительные материалы», благодаря которым молодые клетки работают так хорошо, – получают все больше повреждений. В конце концов клетки одновременно теряют свои функции и способность к делению. Они не могут ни выполнять специализированную работу, ни восстанавливать отмирающие вокруг них клетки в тканях. Неудивительно, что когда мы стареем, наша кожа истончается, а оболочки суставов изнашиваются^{11 12 13 14 15 16}.

Клетки с теломеразой могут поддерживать себя вечно. Клетки без теломеразы постепенно катятся под гору: они не могут отремонтировать повреждения, не могут восстановить молекулы и в конце концов утрачивают даже способность делиться. Неважно, умирают они или просто становятся неподвижными и неэффективными – результат один: поражение тканей и болезнь.

¹¹ Shelton, D.N. et al. "Microarray Analysis of Replicative Senescence." 939–45.

¹² Hayflick, L. "Intracellular Determinants of Cell Aging." *Mechanisms of Ageing Development* 28 (1984): 177-85.

¹³ Hayflick, L. *Cell aging. Chapter 2 in Eisdorfer C. (Ed). Annual Review of Gerontology and Geriatrics, Volume 1. Springer Publishing, 1980.*

¹⁴ West, M.D. et al. "Altered Expression of Plasminogen and Plasminogen Activator Inhibitor During Cellular Senescence." *Experimental Gerontology* 31 (1996): 175–93.

¹⁵ Helton, D.N. et al. "Microarray Analysis of Replicative Senescence." 939–45.

¹⁶ Rogues, C.N., Boyer, J.C., Färber, R.A. "Microsatellite Mutation Rates Are Equivalent in Normal and Telomerase-immortalized Human Fibroblasts." *Cancer Research* 61 (2001): 8405–07.

Теломерная теория старения

Каждый человек начинает свою жизнь как оплодотворенная яйцеклетка, союз двух половых клеток. Яйцеклетка быстро делится, и новые зародышевые стволовые клетки дифференцируются в клетки всевозможных типов, из которых состоит тело. Стволовые клетки производят теломеразу, так что могут делиться сколько угодно, не старея. У новорожденных младенцев несколько триллионов клеток, причем все они молодые и здоровые.

ТЕЛОМЕРАЗА И РАК

Теломераза не вызывает рак, но, возможно, необходима для деления раковых клеток. Поскольку раковые клетки производят теломеразу, они могут делиться бесконечно – отчасти именно поэтому они так опасны. В 1951 году ученые взяли образец клеток рака шейки матки у Генриетты Лаке, чернокожей женщины из Виргинии. Так называемые клетки HeLa используются для самых разнообразных научных исследований в течение десятилетий. Клеток HeLa удалось вырастить около 20 тонн – убедительная демонстрация того, что раковые клетки (и другие клетки, способные производить теломеразу) не стареют. История Генриетты Лаке и клеток HeLa увековечена в книге Ребекки Склут *The Immortal Life of Henrietta Lacks* («Бессмертная жизнь Генриетты Лаке»),

Большинство из них – соматические клетки, которые вскоре, с каждым новым делением, начинают стареть. Сравнительно малое число клеток, может быть, меньше, чем одна на 100 тыс., – это так называемые «взрослые» стволовые клетки, которые тоже могут делиться сколько угодно, создавая молодые клетки, но лишь определенных типов. Когда стволовая клетка делится, одна из новых клеток остается стволовой, а другая становится соматической. У молодых соматических клеток длинные теломеры, которые с каждым делением укорачиваются, а сама стволовая клетка с каждым делением восстанавливает теломеры и создает все новые соматические клетки. Однако процесс чаще всего идет неидеально, так что даже стволовые клетки постепенно теряют свои теломеры. В результате, когда мы стареем, наши стволовые клетки теряют способность восстанавливать недостающие соматические клетки. Стволовые клетки столетнего человека, например, все еще производят новые кровяные тельца, но уже не так хорошо и не так быстро, как в молодости.

Теперь теломерная теория старения становится понятнее. Большинство наших клеток не производит теломеразу, так что их теломеры укорачиваются после каждого деления. Укороченные теломеры изменяют экспрессию генов – к худшему, – и клетки начинают отказывать. Симптомы старения, которые у нас наблюдаются – от морщин до повышенного риска развития рака и болезни Альцгеймера, – отражают старение этих клеток. Все настолько просто – и настолько же сложно.

Что происходит, когда укорачиваются теломеры

Когда теломеры укорачиваются, страдает экспрессия генов, и клетка стареет. Чтобы разобраться, как это работает, нужно кое-что понимать в функционировании клеток.

В клетках все находится в постоянном движении. В каждый момент времени молекулы в вашей клетке производятся и уничтожаются, накапливаются и уходят, постоянно перерабатываются. Все эти разрушения и перестройки кажутся пустой тратой ресурсов, и да – действительно, энергия на это затрачивается колоссальная. Но благодаря этому большинство молекул в клетке довольно новые и, следовательно, с большей вероятностью будут в хорошей форме и идеально функционировать. Клетка очень прилежно трудится, чтобы гарантировать, что каждая молекула работает именно так, как должна.

Клетки не стареют, потому что повреждаются: они повреждаются, потому что стареют.

Может показаться, что отремонтировать поврежденные молекулы будет эффективнее, чем заменять их, но клетка так не поступает примерно по той же причине, по которой вы обычно не ремонтируете сломанный мобильный телефон. Если повреждения слишком значительные, то дешевле и легче будет просто заменить телефон – или молекулы.

Во многих случаях творческое разрушение направлено в первую очередь на поврежденные молекулы, но не во всех. Ваш организм действительно способен распознать, что молекула повреждена, и пометить ее в качестве приоритетной цели для уничтожения, но рано или поздно в переработку уходят абсолютно все молекулы. Даже совершенно нормальные молекулы постоянно разрушаются и заменяются такими же совершенно нормальными молекулами.

Эта система постоянной переработки очень эффективна, но есть у нее и недостаток: постоянная замена молекул требует немалой энергии. С другой стороны, если процесс переработки замедляется, то поврежденных молекул становится слишком много. Как мы увидим позже, именно в этой проблеме – корень старения. У молодых людей обмен веществ работает быстро, и они постоянно обновляют свои молекулы. У стариков обмен веществ медленнее, и обновление происходит уже недостаточно быстро.

Представьте, что бы получилось, если бы мы заключали контракты с операторами сотовой связи так, что каждый из нас получал бы через месяц новый телефон. Скорее всего, сломанных телефонов бы не было *ни у кого*. Из случайно выбранной тысячи телефонов в любой день почти все наверняка будут работать, потому что всем им максимум по два месяца. Но это будет невероятно дорого.

А как насчет противоположной ситуации? Если бы контракты с операторами длились по двадцать лет, то рано или поздно у всех людей телефоны бы сломались. Итак, у нас есть две крайности: платить огромные деньги, чтобы гарантировать, что наши телефоны всегда будут работать, или же платить очень мало, но тогда наши телефоны вообще не будут работать.

В случае с живыми клетками примерно то же происходит и с молекулами. Скорость замены молекул определяет уровень функционирования клетки. Молодые клетки заменяют молекулы быстро, и большинство молекул функционируют идеально. Когда теломеры укорачиваются, экспрессия генов меняется, и необходимые молекулы заменяются медленнее. А медленное обновление молекул приводит к медицинской катастрофе. Если молекулы обновляются слишком медленно, то большинство ферментов – «рабочих лошадок» наших клеток – перестают работать. Большинство белков дефективны, из большинства липидов формируются дырявые мембраны, да и в целом все работает плохо.

Вот так выглядит стареющая клетка.

Главная проблема стареющих клеток – не то, что повреждений становится все больше. И не то, что эти повреждения накапливаются просто потому, что «клетки изнашиваются». Проблемы начинаются, когда скорость обновления молекул уменьшается, и повреждения постепенно накапливаются. Клетки все еще работают, но становятся неэффективными и чаще отказывают; то же можно сказать и о клеточных продуктах вроде внутриклеточной структуры (например, коллагена кожи) или костей, в которых развивается остеопороз. А когда клетки и их продукты работают плохо, возрастает вероятность заболевания – до тех пор, пока не отказывает сразу весь организм.

РЕМОНТ ДНК

Ремонтирует ваш организм молекулы лишь одного типа – ДНК. Молекулы ДНК – критически важный и единственный источник молекулярных шаблонов для всех остальных молекул и чертежей всего вашего тела – постоянно проверяются, ремонтируются, а затем проверяются снова. Повреждения недопустимы. Процесс наблюдения за ДНК и ее ремонта сложен и требует больших энергетических затрат, но он необходим. Когда клетка обнаруживает повреждения, она либо исправляет проблему, либо прекращает делиться, чтобы ошибка не передалась дочерним клеткам. Иногда этот механизм безопасности отказывает, и поврежденная ДНК передается дочерним клеткам. Очень часто такие клетки становятся раковыми. Так что ремонт ДНК имеет высочайший приоритет, потому что если ее не отремонтировать, то заплатить можно смертью всего организма.

Если говорить лаконично, то клетки не стареют, потому что повреждаются: они повреждаются, потому что стареют.

Связь с другими теориями старения

Давайте теперь рассмотрим, что это значит. Клетки *не* накапливают повреждения пассивно. Скорее, когда клетки стареют, падает скорость их ремонта и обновления. Если мы это четко поймем, то связь между теломерной теорией старения и различными теориями, изложенными в первой главе, станет яснее.

Теория усталости и износа гласит, что клетки стареют, потому что пассивно накапливают повреждения. Но на самом деле все клетки устанут и изнашиваются, вне зависимости от возраста. Проблемы начинаются только тогда, когда повреждения недостаточно быстро ремонтируются. Молодые клетки успевают восстановиться полностью, старые – уже нет.

Теломерная теория объясняет, почему некоторые клетки остаются молодыми и избегают износа. Мы теперь знаем, что молодые и здоровые клетки могут полностью ремонтировать повреждения, а если они производят теломеразу, то могут делать это сколь угодно долго.

Митохондриальная свободнорадикальная теория тоже во многом верна. Как уже говорилось ранее, при производстве энергии создаются свободные радикалы, которые могут повредить молекулы, в том числе ДНК. Клетки обязаны поддерживать ДНК целой и невредимой, так что если держать ДНК тщательно спрятанной в ядре, а свободные радикалы удерживать в митохондриях, то генетические повреждения значительно уменьшатся.

Свободнорадикальная теория утверждает, что молодые митохондрии работают эффективно и производят мало свободных радикалов, но, старея, митохондрии становятся неэффективными и производят все больше и больше свободных радикалов, которые повреждают клетки. В конце концов, процесс идет по нарастающей, захватывая все клетки нашего тела, и постепенно, под действием свободных радикалов, наш организм стареет. Это объяснение связывает старение организма со старением его митохондрий, что вызывает закономерный вопрос: почему тогда сами митохондрии стареют? Кроме того, есть и более серьезная проблема: те же самые митохондрии тысячелетиями без всяких проблем функционируют в половых клетках, потому что гаметы производят теломеразу, поддерживают в себе молодые митохондрии и таким способом остаются молодыми и здоровыми. Как и сами клетки, некоторые митохондрии стареют, а другие остаются вечно молодыми.

Фундаментальная проблема состоит не в стареющих митохондриях, а в «дряхло» паттерне экспрессии генов, который появляется из-за укорочения теломер; именно он позволяет свободным радикалам разрушать наши клетки.

Теломерная теория объясняет и эти проблемы. У человеческих митохондрий есть свой набор из 37 генов в кольцевой хромосоме – у нее нет ни концов, ни теломер. Почему же тогда некоторые митохондрии стареют? Большинство белков, необходимых для функционирования митохондрий, на самом деле кодируются не генами митохондрий, а генами в ядре клетки и только затем поступают в митохондрии. Так что функции митохондрий зависят от хромосом в ядре; теломеры в ядре постепенно укорачиваются, а паттерны экспрессии генов со временем меняются. Когда клетка стареет, она уже не может поставлять митохондриям все необходимые белки в нужном количестве, работа митохондрий ухудшается, и свободных радикалов становится больше. Кроме того, при старении клетки медленнее заменяются и липиды, из которых состоят мембраны митохондрий и ядра; благодаря этому свободные радикалы «убегают» из митохондрий, и им легче становится добраться до ДНК. Более того, молекулы-уборщики, которые ловят и уничтожают свободные радикалы, с возрастом тоже начинают работать хуже. Старея, мы производим больше свободных радикалов, им легче

вырваться на свободу, но мы не можем достаточно эффективно ловить их и ремонтировать нанесенные ими повреждения. Все эти проблемы с возрастными повреждениями, которые наносят свободные радикалы, тоже в конечном итоге вызываются теломерами.

Теперь мы можем изложить теломерную теорию старения одним предложением.

Клетки делятся, теломеры укорачиваются, экспрессия генов меняется, ремонт и обновление клеток замедляются, ошибки медленно накапливаются, и клетки погибают.

Заблуждения о теломерной теории старения

Живые клетки были открыты три с половиной века назад Робертом Гуком, британским «натурфилософом», который назвал их «клетками» (по-английски – cells), потому что, впервые увидев клетки растений в микроскопах, он подумал, что они похожи на кельи (по-английски – тоже cells) в монастыре. Именно Гук впервые показал, что крупные формы жизни, например, люди, – не цельные, монолитные организмы: они состоят из бесчисленного множества маленьких клеток.

Это наблюдение стало поворотной точкой и в биологии, и в медицине. До Гука тело считалось неделимым, живым гештальтом или набором различных органов и тканей, обладавших некой таинственной жизненной силой, *elan vital*. Идея существования клеток вскоре привела к совершенно новому взгляду на то, как функционируют живые организмы, который, в свою очередь, заложил основы современной медицины.

В следующие столетия, когда микроскоп позволил людям непосредственно наблюдать клетки, центральный догмат биологии, витализм, постепенно оказался вытеснен клеточной теорией. Биология сосредоточилась на единственном фундаментальном строительном материале живых организмов – клетке. В XXI веке клеточная теория кажется самоочевидной, но, как ни странно, склонность к мышлению в терминах витализма по-прежнему никуда не делась в нашем подходе и к теории, и к клиническому вмешательству.

Лучший пример этого – наши взгляды на старение. Главный отличительный признак медицинской патологии состоит в том, что все болезни – это *клеточные* заболевания. После того, как мы разбираемся, что за патология действует внутри клетки и какие проблемы она вызывает у соседних клеток, мы начинаем понимать механизм болезни. Но многие люди все равно цепляются за идею, что старение – это не процесс, происходящий *внутри* клеток, а нечто загадочное и гештальтоподобное, что происходит *между* клетками, а сами клетки при этом – всего лишь сторонние наблюдатели.

Болезни начинаются в основном внутри клеток и приводят к вторичным проблемам между клетками, а не наоборот.

Чтобы теломерная теория старения стала общепринятой, нужно обязательно справиться с этим заблуждением. Но это лишь одно из многих заблуждений, с которыми предстоит бороться. Я не могу вспомнить ни одной другой теории, которую окружало бы столько ошибочных выводов и путаницы. Давайте рассмотрим хотя бы самые значительные из них.

ЗАБЛУЖДЕНИЕ № 1.

Длина теломер – определяющий параметр для старения

Самое распространенное заблуждение о теломерной теории – то, что длина теломер является определяющим параметром для старения, а то и прямо его вызывает. На самом деле длина теломер в организме практически никак не связана с тем, как долго он живет или как быстро стареет. Как указывают многие ученые, у некоторых животных, например, мышей, теломеры длинные, а живут они недолго, а у других животных, например людей, теломеры намного короче, а живут они гораздо дольше.

Теломерная теория не утверждает, что длина теломер контролирует процесс старения. Для этого она вообще неважна. Старение клеток контролируется *изменениями* длины теломер. Это наблюдение подтверждается данными исследований. Ключевой вопрос состоит не в том, насколько длинными были ваши теломеры при рождении, а в том, насколько короче они стали. Экспрессия генов меняется именно из-за укорочения теломер.

Наблюдения за изменением длины теломер от рождения до старости у мышей и других организмов ясно показывают, что укорочение теломер – или, если точнее, изменения

экспрессии генов, вызванные укорочением теломер, – является основной движущей силой старения организма.

Отчасти именно по этой причине измерение длины теломер имеет довольно ограниченную предсказательную ценность. Лишь в том случае, если вы знаете среднюю длину теломер для конкретного типа клеток у конкретного животного, можно оценить функциональность и патологии организма на основе одной только длины теломер. Например, если мне известно, что средняя длина теломер в лейкоцитах у подростков составляет 8,5 килобаз¹⁷, а к восьмидесяти годам этот параметр снижается до 7,0 килобаз, то, увидев, что в ваших лейкоцитах длина теломер составляет всего 6 килобаз, я сразу пойму, что у вас проблемы. Но сама по себе длина в 6 килобаз ни о чем не говорит, пока мы не узнаем контекста. Дело не в длине, а в *изменении* длины.

Кроме того, важность длины теломер зависит и от типа выбранной клетки. В некоторых клетках теломеры с возрастом становятся короче, в некоторых – нет. Многие клетки – например, клетки стенок артерий, глиальные клетки мозга, клетки крови, кожи, эндотелия желудочно-кишечного тракта и печени – в течение жизни делятся. Но многие другие клетки – например, мышечные и нервные, – обычно перестают делиться еще до рождения, так что длина их теломер остается стабильной в течение всей нашей жизни. Возможно, измерив, насколько уменьшилась длина теломер в ваших коронарных артериях, мы и получим какую-то полезную клиническую информацию, но вот измерение длины теломер в клетках сердечной мышцы будет практически бесполезно. Точно так же полезно следить за тем, как укорачиваются теломеры в микроглиальных клетках, но вот отслеживать длину теломер в обслуживаемых ими мозговых клетках не имеет смысла¹⁸.

ЗАБЛУЖДЕНИЕ № 2.

Клетки умирают, потому что теломеры разматываются

Несмотря на то, что вы, возможно, видели в каких-нибудь телепередачах о здоровье, теломеры не «разматываются». Это распространенное заблуждение непосредственно связано с не менее распространенной аналогией про пистончики. В метафоре подразумевается, что когда вы стареете, пистончик-теломера полностью изнашивается, и нити, из которых состоит ДНК, разматываются, из-за чего ваши хромосомы разваливаются, и стареющая клетка умирает.

Но на самом деле все происходит совсем не так.

(Примечание: я дал разрешение издателям поместить на обложку книги шнурок, потому что пистончик на шнурке – действительно очень легкий для понимания образ, объясняющий, что такое теломера. Но я просил не изображать пистончик потрепанным.)

На самом деле хромосомы вообще никогда не «разматываются», потому что деградация никогда не заходит так далеко. Клеточная дисфункция достигает пика задолго до того, как теломера изнашивается полностью. Только в самых крайних случаях, например у пятого поколения «бестеломерных» мышей (у которых вообще не производится теломераза), клетки теряют абсолютно все свои теломеры. При нормальном старении такого в принципе не бывает.

На самом деле ваши хромосомы останутся в довольно неплохом состоянии, даже если вы доживете до 120 лет.

Идея, что именно укорочение теломер убивает клетку, обычно тоже неверна. Клетки с короткими теломерами, конечно, работают не очень хорошо, но они вовсе не мертвы.

¹⁷ Килобаза – единица измерения длины ДНК или РНК в генетике равняется 1 тыс. нуклеотидов.

¹⁸ На самом деле даже у взрослых некоторые нейроны и мышечные клетки делятся, но очень редко.

ЗАБЛУЖДЕНИЕ № 3.

Возрастные заболевания не могут быть связаны с теломерами

Практически в любом случае кто-нибудь обязательно скажет, что теломеры просто не могут вызывать сердечно-сосудистые заболевания или болезнь Альцгеймера. Обычно такие аргументы выдвигают совершенно рациональные ученые, которые великолепно разбираются в биологии, но намного хуже – в клинической патологии.

Если речь заходит о сердечно-сосудистых заболеваниях, они указывают, что клетки сердечной мышцы, кардиомиоциты, практически никогда не делятся, так что болезни сердца просто не могут быть вызваны укорочением теломер.

Но на самом деле патология сложнее. Сказать, что укорочение теломер не может вызывать сердечных приступов, потому что в клетках сердечной мышцы теломеры не укорачиваются, – все равно, что сказать, что холестерин не может вызывать сердечных приступов, потому что в клетках сердечной мышцы холестерин не скапливается.

Сердечно-сосудистые заболевания вызываются изменениями не в кардиомиоцитах, а в коронарных артериях – клетках эндотелия сосудов, – которые *и* теряют теломеры, *и* накапливают холестерин. Патология развивается в артериях, а не в мышце. То, что кардиомиоциты не делятся, не имеет никакого значения для патологии сердечно-сосудистых заболеваний.

Такая же критика – с похожим неправильным пониманием патологии – используется и в обсуждениях болезни Альцгеймера: нейроны практически никогда не делятся, так что болезнь Альцгеймера просто не может вызываться укорочением теломер.

Да, верно, взрослые нейроны практически никогда не делятся, но вот микроглиальные клетки, которые окружают и поддерживают эти нейроны, делятся постоянно, а *их* теломеры с возрастом укорачиваются. Укорочение микроглиальных теломер коррелирует с болезнью Альцгеймера и, похоже, предшествует наступлению нескольких отличительных симптомов деменции, в том числе накоплению β -амилоидов и образованию τ -белковых клубков.

Полезно будет делать различия между непосредственной и косвенной возрастной патологией. Болезнь Альцгеймера и сердечно-сосудистые заболевания – это примеры косвенной патологии, где нейроны и кардиомиоциты исполняют роль «невинных наблюдателей». Непосредственное старение означает, что стареющие клетки вызывают патологию в своих собственных тканях; при косвенном старении стареющие клетки вызывают патологию в других тканях или клетках другого типа. Это различие окажется особенно полезным, когда мы перейдем к следующим главам, и даже еще полезнее, когда познакомимся с миром врачебного вмешательства с использованием удлинения теломер. В пятой главе я расскажу об укорочении теломер и непосредственных возрастных патологиях, а в шестой – об укорочении теломер и косвенных возрастных патологиях.

Переходим от теории к медицинскому вмешательству

*Любая истина проходит три стадии.
Сначала над ней насмеваются.
Потом ей яростно сопротивляются.
Наконец, ее принимают как самоочевидную.*

Артур Шопенгауэр

Человеческая биология невероятно сложна, а вопрос о причинах старения еще сложнее – даже на общем фоне. Причинно-следственные связи действуют на многих уровнях, и, как мы уже успели увидеть, природу старения можно объяснить многими способами.

Мы можем спокойно сказать, что старение вызывается свободными радикалами, или накопившимися повреждениями организма, или по любой другой вполне верной, но приводящей к неверным выводам причине. Можно описать причинно-следственные связи даже подробнее: сказать, что старость вызывается изменениями внутри клеток, которые, в свою очередь, являются результатом плохого ремонта и восстановления, что приводит к переменам в организме и росту вероятности развития некоторых типичных заболеваний.

Но точнее всего будет сказать, что укорочение теломер скорее даже не вызывает старение, а постепенно делает нас все менее защищенными от наших генетических слабостей или предрасположенностей к болезням. Само по себе старение не вызывает болезней, но оно повышает вероятность того, что проявится, например, генетически унаследованный риск сердечных заболеваний, который приведет к патологии или даже смерти. Старость не вызывает сердечных приступов, но делает их более вероятными. В каком-то смысле можно сравнить укорочение теломер – или старение – с плаванием по озеру, глубина которого постепенно уменьшается, так что камни и отмели оказываются все ближе к поверхности. Чем ближе к поверхности эти отмели (или генетические риски), тем больше вероятность, что вы потерпите кораблекрушение. Возможно, вам повезло, и вы не рискуете заболеть, к примеру, атеросклерозом, но вас ждет еще какая-нибудь коварная отмель. Ваши теломеры будут становиться все короче, вы продолжите стареть, и в конце концов появится какой-нибудь непредвиденный риск, который приведет к болезни и смерти.

Но обсуждение причинно-следственных связей – не главная моя цель. Меня как врача интересует не причина, а возможность медицинского вмешательства. Меня интересует пракτικότητα, определенность и проверяемость.

Старение – долгая и сложная цепочка событий. У нее нет единственной отправной точки или события, которое можно было назвать причиной старения.

Важнейший вопрос звучит так: «Где находится самая эффективная точка вмешательства для лечения возрастных заболеваний?» Это практический подход – и для меня как клинициста, и для всех нас, кто дожил до старости и связанных с ней возрастных заболеваний. Кроме того, я даю ясно понять, что мне все равно, какова причина старения: свободные радикалы, космические лучи, метилирование, укорочение теломер, да что угодно. Я хочу узнать не причину, а метод лечения. Какие из этих факторов можно (если вообще можно) использовать для медицинского вмешательства в старение? Какие из них лучше всего помогут вылечить или предотвратить болезни? Такой подход по определению проверяем. Если предположить, что теломеры – самая эффективная точка вмешательства, то эту гипотезу можно проверить, например, вводя в клетки теломеразу.

Теломерная теория старения гласит, что ключ к лечению возрастных заболеваний – использование теломеразы для того, чтобы снова удлинить теломеры и восстановить экспрессию генов до наиболее здорового состояния. До настоящего момента врачебные вмешательства ограничивались либо симптомами (например, болью), либо конкретными проблемами, которые вызываются изменениями в экспрессии генов (например, воспалениями). Подобные узкие взгляды приводят к множеству клинических неудач при попытке лечить возрастные заболевания. Например, в исследованиях, связанных с болезнью Альцгеймера, большинство клинических испытаний было посвящено β -амилоидным белкам и родственным молекулам, а также τ -белкам. Неудачный исход этих испытаний вполне ожидаем, потому что они никак не решают более масштабных проблем, которые, собственно, и вызывают гибель стареющих клеток. В этих испытаниях борются со следствиями (например, β -амилоидными бляшками), а не с причинами (например, старением микроглиальных клеток). Это все равно, что пытаться вылечить смертельную вирусную инфекцию, сбивая температуру: температуру-то, может быть, сбить и удастся, только вот пациент все равно умрет от инфекции. Когда мы хотим вылечить тяжелый недуг вроде болезни Альцгеймера, бороться только с отложениями β -амилоидов недостаточно. Если мы хотим вылечить болезнь Альцгеймера, то нужно восстановить экспрессию генов в микроглиальных клетках, которые изначально предотвращают отложения β -амилоидов. Неудивительно, что все предыдущие попытки окончились неудачей. Мы просто атакуем не ту клиническую цель.

Продвигаемся к консенсусу

Хотя теломерная теория соответствует имеющимся данным и объясняет самые разнообразные возрастные патологии, а также само явление биологического старения, ее часто неправильно понимают даже ученые. Многие критикуют этот подход, не понимая теории и – в некоторых случаях – не понимая клинической патологии. Это вполне понятно, потому что теорию действительно очень просто неправильно истолковать, а многие эксперты по биологии, как мы уже видели в описании *заблуждения № 3* выше, не являются одновременно и экспертами по человеческим болезням. Кроме того, публикации, объясняющие теорию целиком, сейчас в большом дефиците.

Но все постепенно меняется. Я вижу, что старые ученые критикуют теорию, а вот молодые все чаще принимают ее как данность, хотя ни те, ни другие не понимают ее в точности.

С моей точки зрения академические дискуссии о причинно-следственных связях – это просто философские разглагольствования. Может быть, о них и приятно поговорить за бокалом вина, только вот пользы они никакой не приносят. В последние десятилетия я больше работал над экспериментами, которые непосредственно ведут к врачебному вмешательству. Подробнее мы обсудим это в четвертой главе.

Но сначала я хочу сделать интересное отступление. По большей части в этой книге рассказывается, *как* мы стареем, но в следующей главе я задам довольно неожиданный вопрос: *почему* мы стареем?

Глава третья Почему мы стареем



Как вы уже прочитали в предыдущей главе, мы стареем, потому что каждый раз, когда клетки делятся, у нас укорачиваются теломеры. Чем короче теломеры, тем хуже функционируют клетки. Вкратце это и есть теломерная теория старения, и она объясняет нам очень многое о том, *как* мы стареем – вы увидите это в остальной части книги.

Но в этой главе я хочу ненадолго отвлечься и задать другой вопрос: *почему* мы стареем? Прежние теории старения обычно избегали этого вопроса. Если мы стареем из-за усталости и износа организма или из-за свободных радикалов, то ответ очевиден: мы стареем, потому что старость неизбежна. Несмотря на все усилия организма, он рано или поздно теряет способность чинить все накопившиеся повреждения.

Но теломерная теория старения делает вопрос «Почему мы стареем?» куда более интересным. У всех наших клеток есть ген для производства теломеразы. Они могли бы производить теломеразу, как половые или стволовые клетки, но почему-то не делают этого. Похоже, наши тела стареют не в результате некоего неизбежного физического процесса, а специально *сконструированы*, чтобы стареть. Наши тела стареют не случайно.

Теломераза – это фермент, который помогает клетке «вернуться» и заново удлинить теломеру.

Он позволяет некоторым типам клеток восстановить первоначальную длину теломер, чтобы эти клетки могли и дальше ремонтировать себя и размножаться бесконечно.

Эволюционное мышление

*Эволюция умнее вас.
Лесли Оргел, эволюционный биолог*

Каждый раз, когда мы спрашиваем, почему в биологии что-то происходит так, а не иначе, мы задаем эволюционный вопрос. Функционирование всех живых существ на этой планете – результат миллиардов лет эволюции; каждый аспект вашего тела – результат беспрестанной работы эволюции. Если бы старение не имело эволюционного смысла для биологических видов, организмы бы не старели. Старение каким-то образом повышает вероятность того, что наши гены размножатся, и наш вид выживет.

Вопросы «Почему?» могут показаться бесконечной детской игрой, но в биологии любое «почему» обычно получает эволюционное объяснение. Вот, например:

? Вопрос: *Почему мы чувствуем голод?*

Ответ: Потому что некоторое время не ели.

? Вопрос: *Почему если некоторое время не есть, чувствуешь голод?*

Ответ: Потому что когда вы не едите, организм производит меньше лептина, и из-за этого вы чувствуете голод.

? Вопрос: *Зачем организм так делает?*

Ответ: Потому что животные, не чувствовавшие голода, не старались искать еду и не выживали, чтобы дать потомство, а животные, чувствовавшие голод, выживали. Люди унаследовали это свойство от предков-животных.

Отметим: очень заманчиво было бы сказать, что ваш организм «хочет», чтобы вы ели, или что эволюция «хочет», чтобы вы ели. Я иногда буду пользоваться этим удобным сокращением, но обязательно помните: «хочет» – это удобное сокращение и не более того. Эволюция ничего не «хочет», но если вы не будете есть, то ваши гены не выживут. В этой главе мы спрашиваем: «Почему наш организм хочет стареть?», но это сокращение. Настоящий вопрос звучит так: «Почему животные, которые стареют, выживают и дают потомство с большей вероятностью, чем те, которые не стареют? Почему старение помогает виду (и его генам) выжить?»

Поскольку многоклеточные животные начали стареть многие миллионы лет назад, любой ответ на вопрос «Почему мы стареем?» будет, естественно, только предположением. Но, задав этот вопрос, мы многое узнаем об эволюционном мышлении и природе эволюционного процесса.

Эволюционные траты и выгоды

Почему львы не бегают быстрее? На короткой дистанции львы могут развивать внушительную скорость – 80 км/ч, но их добыча не менее быстра. Антилопы гну тоже бегают со скоростью 80 км/ч. Зебры и африканские буйволы могут развить скорость до 65 км/ч. Поскольку львы выживают, догоняя и убивая добычу, почему они не эволюционировали, чтобы бегать так же быстро, как гепард, который может развить скорость 112 км/ч?

Потому что, как и всегда в эволюции, приходится идти на определенные компромиссы. Гепард развивает невероятную скорость, потому что его стройное тело, небольшая голова и длинные, тонкие ноги очень аэродинамичны. У гепардов большие для их размеров сердца, легкие и ноздри, что помогает снабжать мышцы кислородом на такой скорости. Но за эти выгоды приходится расплачиваться. У гепарда маленькая голова и, соответственно, меньше зубы и слабее челюсти, чем у большинства других хищников.

Быстро бегущему льву, возможно, будет легче догонять добычу; из-за этого он будет более аэродинамичным, но не таким мускулистым. Быстрый лев падет жертвой конкуренции с другими львами и не сможет дать потомство.

Вот мы и дошли до вопросов старения. Разве жить и размножаться вечно – это не большое эволюционное преимущество? Животные, которые не стареют, теоретически могут дать во много раз больше потомства, чем их стареющие конкуренты.

Оказывается, у старения меньше издержек, чем может показаться. Продолжительность жизни у разных видов очень сильно различается, но большинство животных просто не доживает до старости. Голод, конкуренция между видами, хищники, болезни и рак убивают большинство животных задолго до того, как они доживают до старости. Старение никак не влияет на их смертность. «Издержки от старения» появляются только у животных, доживающих до того возраста, когда старость становится фактором смертности.

Есть и еще один фактор, не настолько очевидный. Организмы живут в своих экологических нишах, а эти экологические ниши рассчитаны лишь на определенное количество жителей. Ограничивающий фактор численности, например, оленей – это вовсе не рождаемость оленей. Численность зависит от доступности еды и наличия хищников. Если, скажем, определенный регион может прокормить лишь 1 тыс. оленей, что произойдет, когда там внезапно появится еще 1 тыс. оленей? Голод и нападения хищников очень быстро уменьшат популяцию обратно до 1 тыс.

Чтобы понять, почему эволюция идет в определенном направлении, нужно обязательно рассмотреть, на какие компромиссы приходится идти между тратами и выгодами.

А теперь, помня все это, представьте, что появилась небольшая группа нестареющих оленей, которые могут размножаться сколько угодно. Эти олени – малая часть всей популяции оленей, которые стареют как обычно. Стареющие олени, как и любой другой биологический вид, постоянно эволюционируют, реагируя на изменения окружающей среды. А вот нестареющие олени дают потомство, принадлежащее к более раннему этапу эволюции. С каждым новым поколением потомство нестареющих оленей становится все менее приспособленным к окружающим условиям, чем потомство стареющих оленей. Нестареющих быстро вытеснят, а оставшиеся продолжат стареть.

Вот этот последний пример как раз и иллюстрирует ключевой вопрос в эволюции старения. Если у биологического вида долгая продолжительность жизни, то он адаптируется не так быстро, как короткоживущий вид. Это можно сравнить, скажем, с радиусом поворота машины: чем короче этот радиус, тем круче повороты, в которые может вписаться автомо-

биль. Если некий вид живет долго и дает потомство под конец жизни, то «радиус поворота» этого вида может оказаться недостаточным, чтобы приспособиться к быстрым изменениям физической или биологической среды. Если меняется температура, содержание кислорода, кислотно-щелочной баланс или какой-либо другой аспект физической среды, то вид должен измениться вместе с этими аспектами. Если появляются другие биологические конкуренты или другие животные, на которых нужно охотиться, то короткоживущий вид опять-таки быстрее сможет адаптироваться и с большей вероятностью выживет. С другой стороны, когда окружающая среда – физическая или биологическая – стабильна, то долгая жизнь полезна для выживания. Продолжительность жизни и скорость старения должны быть тонко подстроены не только под окружающую среду, но и под скорость изменения этой среды.

Так что выгоды от «вечной молодости» куда меньше, чем могло бы показаться, по двум причинам: во-первых, большинство животных умирают еще до наступления старости, во-вторых, отсутствие старения снижает темпы эволюции. Старение полезно для биологического вида, хотя издержки для каждого индивида – старение и болезни – довольно суровы.

Если оглядываться на историю, то мы иногда предполагали, что старение – просто неотъемлемая часть жизни любых многоклеточных организмов. Но оказалось, что некоторые многоклеточные организмы (например, гидры) не стареют, а вот некоторые одноклеточные (например, дрожжи) – стареют.

Дилемма многоклеточных

Многоклеточная жизнь впервые появилась около миллиарда лет назад; до этого в течение примерно 2,6 миллиарда лет существовали только одноклеточные организмы. Ранние формы многоклеточной жизни представляли собой колонии, в которых одноклеточные организмы преуспевали больше, чем при самостоятельной жизни.

Многоклеточная жизнь в конце концов «научилась» дифференциации клеток, и появились более сложные организмы со специализированными половыми клетками для размножения. Представьте, насколько радикальным было это изменение для клеток многоклеточных существ. В течение миллиардов лет клетки эволюционировали, чтобы выживать и размножаться. Одноклеточные организмы, которые размножались быстрее и успешнее других, вытесняли те одноклеточные организмы, которые не были такими агрессивными.

Теперь же клеткам, ставшим частью многоклеточного организма, пришлось учиться вести себя совершенно по-другому. Они должны вести себя ответственно, исполняя отведенные роли и поддерживая весь организм. Делиться им нужно только тогда, когда это необходимо организму. Клетка, которая делится слишком быстро – когда организму не нужно, чтобы она делилась, – это раковая клетка, которая убивает организм. Организмы, в которых клетки размножались, как им вздумается, проиграли естественный отбор; организмы, тщательно контролировавшие свои клетки, выживали и процветали.

Многоклеточные существа эволюционировали, контролируя размножение своих клеток. Каков был механизм этого контроля? Часть этого механизма – старение клеток.

Лимит Хейфлика – это грубый, но мощный инструмент, контролирующий размножение клеток. После определенного числа делений клетки просто больше не могут размножаться. С каждым делением теломеры укорачиваются, и примерно после 40 делений клетки теряют способность делиться. Этот механизм контроля, конечно, достался нам не бесплатно – мы стали стареть и умирать от старости, – но, как мы уже убедились ранее, с эволюционной точки зрения это не такая уж и большая цена, и, возможно, старение даже помогает видам лучше адаптироваться к изменениям окружающей среды.

Почему мы стареем?

Полного ответа на вопрос «Почему мы стареем?» мы, скорее всего, никогда не получим, но, судя по всему, старение – это результат эволюции, инструмент, улучшающий способность вида быстро адаптироваться к изменениям в окружающей среде. Так что если эволюция «выбрала» старение, смогут ли ученые разработать инструменты, которые «отменят выбор» – полностью или частично? Это тема следующей главы, в которой мы оставим теорию позади и рассмотрим прогресс, которого удалось добиться, применяя теломерную теорию старения для того, чтобы улучшить здоровье людей и продлить им жизнь.

Глава четвертая В поисках бессмертия

Старые теории никогда не умирают; умирают их сторонники.
Аноним



В течение 25 лет медицина стоит на краю радикальных преобразований. К 1990 году – благодаря Хейфлику, Оловникову, Харли и другим – мы уже примерно понимали, как стареют клетки, но лишь начали подозревать, что старение клеток связано со старением *людей*. Идея, что теломеры смогут помочь нам вылечить возрастные заболевания, была в лучшем случае далекой мечтой.

Новым теориям нужны не только данные: они требуют целеустремленности и терпения. Теломерная теория старения – не исключение. Любой новой теории недостаточно просто быть *верной* или иметь подтверждающие ее данные. Чтобы новую теорию приняли, нужно время. На рубеже веков новое поколение ученых и врачей начало работать и делать карьеру уже с новыми взглядами на то, какие процессы лежат в основе старения и возрастных заболеваний.

Часть первая

Многообещающее начало

Geron, биотехнологическая компания, занимающаяся исследованием теломер, была основана Майклом Уэстом в 1990 году. Майк Уэст понял, что клеточное старение связано с человеческими болезнями. Первоначально Geron поставила перед собой следующую цель: найти способ вмешаться в процесс старения. Майк проявил просто гениальную проницательность в понимании процесса старения и смог изложить свое видение инвесторам. То была смелая попытка переместить бурно растущую отрасль теломерной биологии из лабораторий в клиники.

Geron Corporation (название «Герон» происходит от греческого корня, означающего «старение») была первой биотехнологической корпорацией, поставившей перед собой конкретную задачу по профилактике человеческого старения и борьбе с ними. В 1992 году Geron пригласила Кела Харли на должность директора по науке. Со временем компания собрала большинство значительных патентов для потенциального клинического применения, разработанных на основе исследования теломер. Geron работала в трех основных направлениях:

- использование *активации* теломеразы для лечения старения и возрастных заболеваний;
- использование *ингибирования* теломеразы для лечения рака;
- разработка терапий с применением *стволовых клеток*.

Идея о том, что старение вызывается укорочением теломер, и мы, *возможно*, можем изменить течение процесса старения, была новаторской и, что неудивительно, многим оказалось трудно ее принять. Даже тем, кто видел ее потенциал, в первые десять лет данных было явно недостаточно. Инвесторы и члены совета директоров понимали потенциал возможной противораковой терапии, но вот поверить, что мы можем обратить вспять процесс клеточного старения и создать высокодоходные лекарства от возрастных болезней, оказалось труднее. Даже многие ключевые игроки нашей отрасли, в том числе Лен Хейфлик, с большим подозрением относились к идее, что теломераза играет какую-то роль в человеческом старении. Этот вполне понятный консерватизм – и осторожные финансовые решения, которые его подкрепляли, – отражал взгляды ученого сообщества в 90-е годы.

Тем не менее, первые десять лет в Geron были просто головокружительными для тех из нас, кто видел потенциал в применении теломеразы для лечения старости и возрастных заболеваний. В это время в Geron исследовали принципы работы теломеразы, искали ее кофакторы, набирали данные по корреляции между длиной теломер и старением клеток в разных типах клеток и в разных организмах, а также по другим сопутствующим вопросам. Кроме того, компания провела важные исследования теломер в раковых и стволовых клетках. И, наконец, в 1999 году вопрос был решен: Geron удалось продемонстрировать, что укорочение теломер не просто коррелирует со старением клеток, а вызывает его.

За Майком Уэстом всегда было трудно угнаться, причем не только в интеллектуальном смысле. Невозможно предсказать, где его сейчас можно найти – в кабинете за заполнением заявки на очередной патент, в лаборатории за подсчетом клеток, а может быть – в Париже на лекции по стволовым клеткам или в Сингапуре на конференции о клеточном старении. Карта мира в коридоре Geron была испещрена разноцветными булавками, с помощью которых мы пытались отслеживать его передвижения. «Где сейчас Майк Уэст?»

Впрочем, где бы ни был Майк, он всегда на шаг опережал всех остальных.

В 1993 году Geron пригласила меня в Калифорнию, дала мне доступ к своим неопубликованным данным (по большей части – патентуемым) и попросила прочитать несколько

лекций о клиническом потенциале теломеразы для лечения старения и болезней. Даже тогда некоторые из нас уже четко видели огромный потенциал для лечения болезней. Оценив, насколько важные события происходят в Geron, исполнительный директор компании Рон Истмен попросил меня задокументировать ее историю, но сами идеи оказались важнее, чем компания. В результате я написал книгу *Reversing Human Aging*: первую хронику, рассказывающую о том, как мы разбирались, почему и как происходит старение.

Будучи единственным врачом, работавшим параллельно с Geron, я давал компании клинические советы, но, кроме этого, я был одним из немногих сотрудников Geron, которые, подобно Майку Уэсту, искренне верили, что мы действительно можем вылечить возрастные заболевания. Я был оптимистом, теоретиком и человеком, рассказывающим нашу историю публике. Я видел картину в целом, понимал целиком всю теорию старения и ее следствия для клинической практики. Мой послужной список – профессор медицины, преподаватель биологии старения в университете и ученый-исследователь – помог мне четко и понятно объяснить общую теломерную теорию старения врачебному сообществу и широкой публике.

Во время своих поездок в офисы Geron я останавливался у моего друга Кела Харли, директора по науке, который жил с женой в красивом доме в Пало-Альто. Мы немало времени проводили, обсуждая научное и клиническое понимание процесса старения. Однажды вечером за ужином я сказал, что наше понимание теломер, возможно, позволит нам создать объединенную теорию старения. Я утверждал, что теломеры – самая эффективная точка для клинического вмешательства при лечении возрастных заболеваний, и они позволят нам предотвратить или даже вылечить большинство тех болезней, с которыми обычная медицина справиться не в состоянии. Я удивился, узнав, что Кел не согласен с тем, что теломераза может стать эффективным и новаторским методом лечения. Я попросил его оценить в числовом значении важность роли теломеразы в процессах старения. Он ответил: «Не более 15 %». Даже будучи главным научным лидером в Geron, Кел по-прежнему пессимистично относился к клиническому потенциалу теломеразы, как и многие его коллеги. По иронии судьбы, в следующее десятилетие видение Geron постепенно становилось все более ограниченным, а вот сам Кел стал куда большим оптимистом.

Пьянящее было время.

В большинстве своем мы были уверены, что в воздухе витает что-то значительное. Для ученых Geron важнее всего было знать, что теломеры, возможно, контролируют старение клеток. Я и еще несколько человек подозревали, что клеточным старением тут все далеко не ограничивается. Будучи профессором медицины, я потратил годы, пытаясь не просто понять механизмы человеческого старения, но и найти способ лечения возрастных заболеваний. Теломерная биология и клеточное старение показали, как вписать все, что нам известно о процессе старения, в одну четкую, связную картину, с которой сейчас соглашается все больше моих коллег.

На кону стояло нечто куда более важное, чем научное понимание старения. Физики XIX века считали, что «почти» полностью поняли Вселенную – пока не появились теория относительности и квантовая механика и не поставили все с ног на голову в начале двадцатого столетия. Биологи и врачи точно так же считали, что «почти» полностью поняли старение, а сейчас теломерная биология поставила все с ног на голову. Но революционные перемены нанесли куда более мощный удар, а не просто помогли нам лучше разобраться в клеточном старении.

В медицине и биологии очень глубоко засела парадигма: как бы хорошо мы ни понимали процесс старения, изменить его невозможно. Когда-нибудь мы полностью разберемся в молекулярных подробностях старения. Возможно, мы даже сможем воспользоваться этими знаниями, чтобы замедлить процесс старения и предоставить паллиативный уход (облегчение состояния пациента, чье заболевание не поддается лечению) пациентам с болезнью

Альцгеймера и атеросклерозом. Но вот обратить старение вспять или хотя бы остановить его невозможно.

Или возможно?

Вот потрясающее следствие, выведенное из нашего нового понимания старения.

Теломеры и клеточное старение не просто объясняют, как мы стареем: если присмотреться внимательнее, то получается, что мы можем восстановить теломеры, обратить вспять клеточное старение и таким способом вылечить возрастные болезни человечества. Или, если говорить проще, мы можем обратить вспять человеческое старение.

Я клиницист, так что мои интересы никогда не ограничивались чистой наукой. Мои цели – практические и клинические. Я хотел улучшить жизни. Я хотел найти самую эффективную точку для медицинского вмешательства в возрастные болезни. Я к тому времени писал учебник по медицине о процессах старения, но меня настолько поразила теломерная теория и ее совершенно беспрецедентные следствия для клинической медицины, что я отложил учебник в долгий ящик. Вместо этого я решил написать первую в истории книгу, объясняющую, как можно обратить вспять старение.

Трудно объяснить широкой публике более полные взгляды на биологическое старение и беспрецедентные следствия, которые могут ждать и медицину, и общество – ведь большинство обывателей и ученых считают, что старение невозможно обратить вспять.

Компания Гегон дала мне полный доступ к своим данным, но к 1995 году большинство этих данных носило лишь предварительный характер. Мы были уверены, что укорочение теломер играет роль в старении клеток, но оставался вопрос: оно вызывает старение клеток или же является его результатом? Мы ясно видели, что у молодых клеток теломеры длинные, а у старых они короче, но что считать причиной – старость или укорочение теломер? Мы подозревали, что укорочение теломер каким-то образом изменяет экспрессию генов, из-за чего клетки и начинают стареть, но это еще не было доказано.

Теломерная теория старения была элегантно и последовательной, а потенциал для человеческой медицины был потрясающим и беспрецедентным, но данные все еще были неубедительны. Я, конечно, мог объяснить теорию и доступные тогда исследовательские данные, но по большей части книга бы основывалась на предположениях, а не на фактах. Кроме того, эта книга была не просто научным учебником – учебник я написал десять лет спустя для издательства Oxford University Press, – она предназначалась для широкой публики. Так что я объяснил не только ограниченную теорию старения клеток, но и общую теорию человеческого старения и ее значение для нас.

Задача была сложной.

Наука о старении – это отрасль, разделенная на два лагеря, практически не доверяющих друг другу. В первом лагере обитают энтузиасты – возбужденные дилетанты и несколько профессионалов, которых по большей части считают маргиналами; они уходят далеко за пределы научных данных и часто делают сенсационные заявления вроде «этот чудесный продукт или это модное лекарство предотвращают старение». Второй лагерь состоит из вдумчивых, серьезных ученых и клиницистов, которые настолько боятся, что их зачислят в маргиналы, что делают все возможное, чтобы отмежеваться от группы энтузиастов и не позволить им ссылаться на свои работы.

Группы энтузиастов обычно устраивают большие ежегодные собрания с десятками и сотнями торговых лотков и страстными ораторами, которые произносят грандиозные речи, не подкрепленные почти никакими фактами. Эти страстные ораторы прикладывают огромные усилия, чтобы изменить регуляторные ограничения и научные приоритеты в стране так, чтобы они соответствовали их взглядам. Глава Национального института антистарения

ния однажды признался мне, что несколько высокопоставленных участников одной из этих групп «сделали больше, чтобы лишить исследования старения поддержки Конгресса, чем кто-либо другой в этой стране». Он отметил, что некоторые конгрессмены искренне считают, что эти фанатики представляют все ученое сообщество, так что не видят причин финансировать, по их словам, «сумасшедшие идеи». Учитывая подобное восприятие, медики и ученые часто боятся, что их причешут под ту же гребенку, и аккуратно дистанцируются от этих «евангелистов».

Мы с Майком Уэстом однажды посетили известную ежегодную конференцию по борьбе со старением. На различных презентациях нам рассказали, как магниты, кристаллы, медитация, деионизированная вода и витаминные добавки обращают старение вспять. Это была не наука, а магическое мышление.

К сожалению, между двумя этими группами практически не существовало консенсуса, компромиссов или даже взаимопонимания. С какой бы осторожностью я ни пытался объяснить теломерную теорию и перспективы изменения процесса старения, я рисковал стать врагом либо для одной, либо для другой группы. Задача была тяжелейшей: как объяснить широкой публике исследовательские данные, более полные взгляды на биологическое старение и беспрецедентные следствия, которые могут ждать и медицину, и общество? Большинство обывателей, как и ученых, придерживаются определенного мнения о старении, и оно состоит в том, что обратить старение вспять никому не удастся.

Точно и аккуратно изложить свое послание оказалось очень трудно.

Журналисты из национальных медицинских изданий спрашивали меня о митохондриях и вообще ни слова не сказали о теломерах. В больших книжных магазинах посчитали, что «Обратить старение вспять» – это книга о самопомощи, и поместили ее в отдел «Диеты», хотя диеты вообще никак не связаны ни с клеточным старением, ни с теломерами. В прессе считали, что старение вызывается свободными радикалами. Широкая публика думала, что старение можно замедлить с помощью хорошо подобранной диеты. Никто не верил, что процесс старения можно хоть как-то изменить на уровне клеток.

Читая лекцию для Национальных институтов здравоохранения в апреле 1996 года, я обнаружил в зале несколько сотен врачей и ученых, у которых были свои предубеждения по поводу старения.

– Когда я закончу эту лекцию, любой, кто уйдет из этой комнаты, считая, что мы *можем* обратить вспять человеческое старение, мыслит иррационально. Впрочем, любой, кто уйдет из этой комнаты, считая, что мы *не можем* обратить вспять человеческое старение, тоже мыслит иррационально. Если вы все хоть немного рассудительны, то покинете зал, думая «Я не знаю, можно ли обратить старение вспять или нет, но хочу познакомиться с данными». А теперь давайте я покажу вам, что нам известно.

Reversing Human Aging – первая книга, в которой объяснялось, как можно обратить старение вспять, но в ней также содержались предположения о беспрецедентных последствиях для медицины и общества. Если мы сможем удлинить теломеры, будем ли мы стареть? Если мы обратим старение вспять, что произойдет с населением мира? А с затратами на жизнь? Что можно сказать об этике продления жизни? Книга была основана на четких научных данных, но вместе с тем и предсказывала, что мы сможем сделать с клинической точки зрения в следующие несколько десятилетий. В 1996 году я предсказал, что первое вещество, способное изменить процессы человеческого старения, выйдет на стадию клинического тестирования всего через 10–20 лет. Предсказание сбылось всего 11 лет спустя. Первые испытания активаторов теломеразы на людях начались весной 2007 года.

Издание книги стало одновременно благом и проклятием. Многие читатели разделились на два противоборствующих лагеря, уже хорошо знакомых мне: верующие-энтузиасты, которые вычитали в книге много такого, о чем в ней вовсе не говорилось, и скептики-кон-

серваторы, которые отказались принимать ее всерьез. Одни посчитали умозрительные предположения фактами, вторые посчитали факты умозрительными предположениями. Тем не менее, книгу прочитало довольно много людей, и, разъезжая по миру с лекциями, я поставил перед собой цель: сделать так, чтобы слушатели на самом деле поняли теорию и ее медицинский потенциал.

ЕЩЕ ОДИН РАЗРЯД

Кел Харли постепенно все же начал верить в потенциал теломерной теории для человеческой медицины. Однажды он преподнес мне подарок. Он купил кухонную табуретку, тщательно вырезал на сидении спираль ДНК и буквы TTAGGG (теломерную последовательность), а с обратной стороны сидения нарисовал свои инициалы и дату: 01994.

– Знаешь, почему я добавил ноль в начале? – спросил он. – Потому что если ты прав насчет продления человеческой жизни, то нам, возможно, понадобится еще один разряд для подсчета дат.

Иногда люди сначала делают из фактов собственные утрированные выводы, а потом раздражаются из-за своих же преувеличений. Когда я читал лекцию в Смитсоновском институте, один из слушателей сидел со скептическим, недовольным выражением лица. Вставая, чтобы задать свой вопрос, он уже откровенно злился.

– Доктор Фоссел, – хмурясь, сказал он. – Правда ли, что все эти работы, абсолютно все эксперименты проводились только на клетках и только в лаборатории? На людях этого не пробовали! Это правда?

Он стоял и торжествовал, считая, что загнал меня в угол.

– Да, спасибо. Отлично сформулировано. Я бы и сам не смог сказать это так хорошо и лаконично. – Я окинул взглядом аудиторию. – Следующий вопрос, пожалуйста.

Он был очень разочарован, но факты говорят сами за себя.

Реакция ученых на книгу оказалась предсказуемой, учитывая культурный раскол в области изучения старения. Некоторые сразу же списали ее со счетов, многие просто не стали читать. (Многие ученые до сих пор не знают, кто впервые опубликовал теломерную теорию старения.) Кое-кто ругал книгу не за то, что она неверна, а просто за то, что там слишком много предположений.

Но, как ни странно, *наука не может жить без предположений*.

Любую хорошую гипотезу нужно проверять, но если не выдвигать гипотез, то вы не знаете, *что* именно проверять. Я довольно ясно объяснил, какими данными мы располагаем, а какими еще не располагаем – и что на данный момент является лишь гипотезой. Теории должны быть проверяемыми, иначе они не научны. Теломерная теория вполне проверяема, но, как ни странно, многие критиковали мою теорию не потому, что она была иррациональна и неверна, а потому, что ее еще не доказали. Будущая нобелевская лауреатка Кэрол Грейдер в 1996 году писала мне:

Укорочение теломер коррелирует с возрастом клеток; пока что нет никаких доказательств, что теломеры каким-либо образом вызывают одряхление клеток. Более того, не существует никакой прямой связи между клеточным старением и старением всего организма.

Некоторые критики зашли намного дальше. Два известных исследователя теломер, используя в своих письмах практически идентичные формулировки, заявили, что моя теломерная теория старения – «оскорбление науки и научного образования», и потребовали изъять книгу из продажи – или даже вовсе запретить ее.

Я был поражен. Может быть, отличительная черта теории, разрушающей парадигмы, состоит не в том, что она подтверждается конкретными данными, а в том, что кто-то требует ее запретить еще *до* экспериментальной проверки?

Уже к середине 90-х годов стало совершенно ясно, что теломеры играют важнейшую роль в клеточном старении, но критический вопрос был другим: как клеточное старение связано с человеческими болезнями? И, что еще важнее: сможем ли мы использовать эти знания, чтобы вылечить болезни? Для клеточного биолога старение – всего лишь предмет научного интереса, но вот вне лаборатории эти вопросы волнуют реальных людей с реальными медицинскими проблемами. Пациентам неинтересно знать, как теломераза удлинит теломеры: им интересно знать, продлит ли теломераза их жизнь.

Ученым приходится иметь дело с клетками, а вот врачи имеют дело со страданиями.

Старение – это абстрактная идея, но для врачей – да и для всех нас, рано или поздно, – старение – это слабоумие, болезни сердца, боли в суставах и страх. Для нас важнее всего не клетки, не старение и даже не болезни, а *вмешательство*. Можно ли найти способ вылечить болезни, которые портят нам жизнь, когда мы стареем? Можем ли мы улучшить жизнь тех, кого любим и о ком заботимся?

Я хочу не *понимать* старение, а *лечить* его.

Чем больше невежество, тем сильнее приверженность догмам.
Сэр Уильям Ослер, «отец современной медицины»

Я написал несколько влиятельных медицинских статей – первых в истории, объясняющих общую теломерную теорию старения и предполагающих, что для лечения возрастных заболеваний можно использовать теломеразу. Я считал, что теломераза поможет, потому что она может непосредственно отключить процесс старения на клеточном уровне. В своих статьях для *Journal of the American Medical Association* (JAMA) я систематизировал данные и рассказал, как теломераза сможет помочь нам с лечением возрастных заболеваний. То были первые опубликованные в рецензируемом издании статьи, где говорилось, что укорочение теломер вызывает старение не только клеток, но и людей, а удлинняя теломеры, мы сможем вылечить возрастные заболевания *и* обратить старение вспять.

Медицинское сообщество отреагировало положительно, как и многие ученые-академики. Тем не менее, нам требовались данные.

Через несколько лет после моих первопроходческих статей компании Geron удалось доказать, что теломераза действительно отключает старение клеток. До этого работа была по большей части теоретической, так что все труды – и первоначальные успехи Geron, и теломерная теория старения, – зависели от лабораторных результатов. Кел Харли возглавлял команду, получившую эти результаты. Работа Кела подчеркнула поразительную корреляцию между теломерами и старением клеток, но он зашел намного дальше. Именно Харли с коллегами смогли доказать, что укорочение теломер не просто коррелирует со старением клеток: оно *вызывает* старение клеток.

В 1999 году то, что я предположил в своих статьях для *JAMA*, удалось осуществить на практике в лабораториях Geron.

Что важнее всего, Харли показал, что когда с помощью теломеразы длина теломер в старой клетке восстанавливается до значения, характерного для молодой клетки, старая клетка становится неотличима от молодой. Короче говоря, изменения длины теломер не просто коррелировали с клеточным старением: они вызывали клеточное старение, а длину теломер можно было восстановить. Впервые в истории человечества нам удалось обратить вспять старение человеческих клеток. С помощью теломеразы мы смогли «отвести часы назад» и сделать старую клетку молодой.

В 1999 году ученые Geron¹⁹ опубликовали историческую статью²⁰, в которой показали, что, восстанавливая длину теломер в человеческих клетках, вы не только сбрасываете их лимит Хейфлика, но и изменяете паттерны экспрессии генов. Старые человеческие клетки снова стали выглядеть и вести себя, как молодые. Старение перестало быть неотвратимым фактом человеческой жизни. Старение клеток теперь можно в любой момент остановить. Это удалось сделать, конечно, только в отдельных клетках, а не у пациентов, но, тем не менее, обратить вспять клеточное старение удалось впервые, а это уже важный шаг к клинической терапии.

За первичными исследованиями почти сразу последовали другие работы, которые зашли еще дальше. Следующий шаг – обратить вспять старение человеческих тканей. Понадобилось не очень много времени, чтобы доказать, что первые результаты не случайны.

В первые годы нового столетия несколько экспериментов – как в лабораториях Geron, так и в университетских, – показали, что старение можно обратить вспять как в клетках, так и в тканях, состоящих из этих клеток. Например, если взять самые распространенные типы человеческих кожных клеток (фибробласты и кератиноциты) у пожилого человека и вырастить их в культуре, то из них получится тонкая и легко рвущаяся кожная ткань, как у стариков. Если взять эти клетки у молодого человека, то кожная ткань плотная и сложного строения – как у молодых людей. Но вот если взять кожные клетки у пожилого человека и восстановить длину их теломер, то выросшая кожная ткань будет больше похожа на кожу молодого человека²¹. Короче говоря, мы смогли обратить вспять старение в «пожилых» клетках и вырастить молодую кожу.

Похожие результаты были получены с клетками стенок сосудов (из старых клеток вырастили молодую сосудистую ткань)²² и костными клетками (из старых клеток вырастили молодую костную ткань).

Во всех случаях, восстанавливая длину теломер до значений, типичных для молодого возраста, мы выращиваем из старых клеток ткань, которая выглядит и функционирует точно так же, как молодая.

ОБРАЩАЯ ВСПЯТЬ СТАРЕНИЕ КЛЕТОК, ВЫ ОБРАЩАЕТЕ ВСПЯТЬ И СТАРЕНИЕ ТКАНЕЙ

В начале XXI века Geron удалось клонировать два ключевых компонента теломеразы и научиться эффективно использовать гены теломеразы. С помощью этих инструментов Geron уже удалось восстановить человеческие теломеры в лаборатории (пусть пока и не в клинике). Ключевой вопрос стал звучать уже не как «Можем ли мы обратить вспять старение в клетках и тканях?», а «Можем ли мы обратить вспять старение в целых живых *организмах*?» Похоже, все было готово к тому, чтобы испытывать теломеразную терапию уже не в лабораторных условиях, а на людях. Теория была солидной, все методики – доступны, а я уже был готов помогать пациентам.

Теломераза – это фермент, который удлиняет теломеры и восстанавливает «молодость» клетки. Она состоит из двух активных частей: hTERT (теломеразной обратной транскриптазы человека), активного белка, и hTERC (теломеразного РНК-компонента человека) – шаблона, который задает ферменту, какие именно основания ДНК добавлять в теломеру и в

¹⁹ Shelton, D.N. et al. "Microarray Analysis of Replicative Senescence." 939–45.

²⁰ Funk, W. D. et al. "Telomerase Expression Restores Dermal Integrity to In Vitro-Aged Fibroblasts in a Reconstituted Skin Model." *Experimental Cell Research* 258 (2000): 270–78.

²¹ Yudoh, K. et al. "Reconstituting Telomerase Activity Using the Telomerase Catalytic Subunit Prevents the Telomere Shorting and Replicative Senescence in Human Osteoblasts." *Journal of Bone and Mineral Research* 16(2001): 1453-64.

²² Matsushita, S. et al. "eNOS Activity Is Reduced in Senescent Human Endothelial Cells." *Circulation Research* 89 (2001): 793-98.

какой последовательности. hTERC играет роль чертежа, а hTERT непосредственно выполняет работу. И то, и другое необходимо для удлинения человеческих теломер. Эти две части фермента совершенно необходимы для так называемого острого функционирования (в том числе терапевтического вмешательства), но есть еще и десятки других белков и кофакторов, необходимых для модуляции, контроля и долгосрочной поддержки теломер. Более того, за новейшими достижениями уследить практически нереально, потому что в литературе статьи о новых факторах появляются чуть ли не каждую неделю, а скорость новых открытий в ближайшее время вряд ли снизится.

Но даже когда появились данные, доказавшие корректность теломерной теории старения, другие факторы начали препятствовать применению новых знаний для лечения болезней. Многие люди все еще не понимали теломерную теорию и следствия из нее, но проблема была даже не в этом. Как часто бывает в случаях, когда научный прогресс притормаживает, проблема оказалась не в науке, а в человеческой природе.

Часть вторая

Все разваливается

Есть старый анекдот о том, как в маленький городок впервые приехал автомобиль. Какой-то старик посмотрел на машину и спросил: «А где лошадь?» Водитель объяснил, что лошадь ему не нужна, и объяснил, как работает двигатель внутреннего сгорания. «Ну, это все хорошо, – ответил старик, – но где же лошадь?»

Примерно то же произошло, когда ученые из Geron доказали, что теломеры – движущая сила старения клеток. Проблема была даже не в том, что идея обращения старения вспять оказалась непонятной – ее просто не услышали. Предположение, что старение можно остановить или обратить вспять, казалось настолько очевидно иррациональным, что многие просто проигнорировали и открытие, и следствия из него. Очень жаль: следствия из него просто невероятны. Мы можем не просто обратить вспять старение клеток, но и вылечить возрастные заболевания.

В некоторых случаях даже ученые, принимавшие непосредственное участие в исследовании теломер и клеточного старения, с трудом понимали все последствия. Многие сотрудники Geron Corporation так и не смогли поверить в то, что теломеры действительно играют роль не только в клеточном старении, но и в старении человека, не говоря уж о том, что удлинение теломер может стать полезным клиническим методом – хотя у них был доступ ко всем данным, и они работали бок о бок с ключевыми игроками отрасли. Как мы увидим, эта проблема – недоверие к выводам, следующим из полученных данных, – сыграла ключевую роль, не позволив лабораторным опытам быстро превратиться в клиническую терапию.

В следующее десятилетие несколько биотехнологических компаний обанкротились, потому что инвесторы, первоначально принимавшие живейшее участие в работе, просто не верили в реальность полученных результатов. Когда ученые предлагали просто набор клеточных экспериментов, которые могли повлиять на клеточное старение и, может быть, рак, инвесторы щедро их финансировали, но вот когда дело доходило до клинических испытаний, связанных с человеческим старением, инвесторам было очень трудно преодолеть свою полную уверенность в том, что старение невозможно остановить. Словно старик, впервые в жизни увидевший безлошадный экипаж, они так и не смогли справиться с предрассудками.

Где же лошадь?

К сожалению для пациентов, клинический потенциал игнорировали и стратегические руководители Geron. Совет директоров и ученые советники Geron, конечно, по-прежнему поддерживали исследование теломер и клеточного старения, но так и не смогли избавиться от уверенности, что человеческое старение предотвратить невозможно. Несмотря на результаты, полученные в своих же лабораториях, они не смогли принять идею, что старение можно обратить вспять – даже в клетках, не говоря уж о человеческих болезнях. Данные были совершенно очевидными, но их не подкрепляла вера. Из-за этой твердой уверенности и того, что руководители несли вполне понятную финансовую ответственность за успех компании, приоритеты начали меняться.

Когда компанию Geron только основали, перед ней стояла цель вмешаться в процесс старения, но потом на передний план вышли две вторичные цели – заслуживающие большего доверия и консервативные. Приоритетами Geron стали противораковая терапия и (в меньшей степени) исследование стволовых клеток. Борьбу со старением тихо убрали в долгий ящик – компании стало как-то даже неловко, что она когда-то об этом говорила. Майка Уэста, основателя Geron, сыгравшего важную роль в формировании первоначальной идеологии компании, сначала отодвинули на административную должность, а затем он и вовсе покинул компанию, так что там не осталось никого по-настоящему заинтересованного

в исследовании старения и потенциальной клинической ценности активации теломеразы. После того, как Майк Уэст ушел из Geron, все исследования и патенты в этой области сначала лицензировали, а позже продали.

К 2002 году Geron удалось идентифицировать несколько мощных активаторов теломеразы, но руководство посчитало, что они не имеют стратегической ценности, так что фармацевтические разработки свернули. Некоторые университетские ученые провели дополнительные испытания этих веществ, но по большей части их исследования имели чисто научную ценность и никак не способствовали лечению человеческих болезней.

Как часто бывает в случаях, когда научный прогресс притормаживает, проблема оказалась не в науке, а в человеческой природе.

Исследования теломер помогли нам лучше узнать биологию и химию теломеразы, и в 2009 году Элизабет Блэкберн, Кэрол Грейдер и Джек Шостак получили за них Нобелевскую премию, но это опять-таки была чисто академическая работа. Практически никого не интересовал медицинский потенциал, не говоря уж о клинических испытаниях теломеразы на людях – за исключением нескольких предпринимателей, о которых я вскоре расскажу.

Компания Geron не только перестала быть самым многообещающим лидером в области лечения возрастных заболеваний, но еще и стала тормозить клинический прогресс. Она держала и защищала ключевые патенты, но не *использовала* их. Из-за этого новые биотехнологические компании испытывали большие трудности с превращением теломерной *теории* в клиническую теломеразную *терапию*. Многие исследователи и биотехнологические компании готовы были прыгнуть в эту бездну, но их останавливали патенты. Geron могла заявить свои права на любой продукт, созданный новыми биотехнологическими фирмами, так что новые компании просто не могли найти инвесторов. Некоммерческие исследования, конечно, продолжались, но, учитывая проблемы с патентами, большинство инвесторов биотехнологических фирм старались не связываться с теломеразными терапиями, несмотря на их клинические перспективы.

К счастью, Geron в конце концов все-таки сделала свои данные и патенты на теломеразные активаторы доступными для других. В 2002 году Geron продала нутрицевтические права на эти вещества в TA Sciences, а в 2011 году продала этой компании эксклюзивные права на *все* эти вещества – и нутрицевтические, и другие. За патенты на стволовые клетки Geron держалась дольше, но даже их в 2013 году продала новой биотехнологической компании BioTime, основателем и исполнительным директором которой был ни кто иной, как Майк Уэст. Работа со стволовыми клетками наконец вернулась в руки того самого человека, который более десяти лет назад и создал эту отрасль. Компания Майка работает над разработкой терапии с использованием зародышевых стволовых клеток для лечения возрастной макуло-дистрофии и травм позвоночника.

Geron сейчас работает только над теломеразными ингибиторами – возможно, наименее перспективной из своих изначальных технологий.

Проницательный бизнесмен Ноэль Паттон разглядел клинический потенциал теломеразы и купил у Geron технологию активаторов теломеразы. В 80-х годах Паттон был одним из первых представителей американского малого бизнеса, посетившим Китай. Его очень интересовали проблемы старения, он был одним из инвесторов Geron и внимательно следил за их патентами. Geron разработала набор из четырех активаторов теломеразы, стероидных молекул, которые вместе называются астрагалозидами. Эти вещества были получены из корня растения *Astragalus membranaceus*, которое в течение более чем тысячи лет использовалось в качестве добавки в чай в китайской народной медицине.

Astragalus membranaceus (астрагал перепончатый, также *A. propinquinus*) – многолетнее растение с мохнатыми стеблями и маленькими, симметричными листочками, внешне напоминающее обычный горошек. Астрагал вырастает от полуметра до метра в высоту; в естественном виде он встречается на северо-востоке Китая, в Монголии и Корее, но выращивать его можно практически в любом регионе с умеренным климатом, в том числе почти на всей территории Северной Америки. Семена можно легко купить в сети Интернет.

Корень обычно берут от взрослого четырехлетнего растения. Его высушивают, измельчают и заваривают из него лечебный чай. Современные активаторы теломеразы состоят из тщательно очищенного экстракта корня астрагала в гелевых пилюлях. Сушеный корень астрагала продается в китайских магазинах и входит в состав чаев, а экстракты можно купить в аптеках, где продаются растительные пищевые добавки. Но они не являются надежными источниками молекул астрагалозидов, которые активируют теломеразу. В немногочисленных анализах купленных астрагаловых чаев и экстрактов обнаружили лишь следовые количества этих веществ. Тут действует право *Caveat emptor*, т. е. *Пусть покупатель будет бдителен*.

Паттон понял, что благодаря долгой истории использования людьми эти вещества попадают под категорию «считаются безопасными», так что их можно продавать как «нутрицевтики» (аналогичный термин в России – «биологически активные добавки»). Подобное обозначение не позволяет говорить о терапевтической ценности веществ для лечения человеческих болезней, но, как мы увидим в дальнейшем, сейчас появляется все больше доказательств того, что активация теломеразы приносит значительную клиническую пользу при лечении возрастных заболеваний. Впрочем, продавцам биодобавок разрешается делать другие, более расплывчатые заявления – например, продукт может «замедлять старение», «улучшать работу иммунитета» или «улучшать здоровье и самочувствие». Выкупив в 2002 году права у Geron, Паттон основал компанию TA Sciences (TA означает «telomerase activation» – «активация теломеразы») и разработал способ извлечения и очистки астрагалозидов. К 2006 году в продаже в США появился препарат TA-65.

Я однажды спросил Паттона, отчего он занялся активаторами теломеразы. Он улыбнулся и ответил:

– Уж точно не ради денег. У меня уже был довольно успешный бизнес, и мне не нужны дополнительные деньги на поддержание образа жизни. Понадобилось восемь лет убытков и куча усилий, чтобы вывести TA Sciences хотя бы в ноль. И не для того, чтобы спасти человечество. Мне уже было за 50, когда я узнал о теломерах и активаторах теломеразы. Я знал, что жить вечно не смогу, но не хотел к старости стать больной развалиной. Мне нравится кататься на лыжах, играть в теннис и танцевать, и я хотел и дальше наслаждаться жизнью. Думаю, можно честно признаться, что я работаю над ними, чтобы спасти свою задницу.

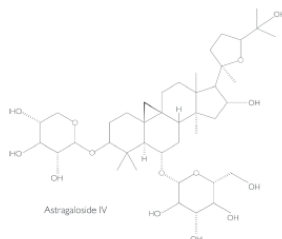
Если бы Паттон просто торговал очередной биодобавкой, обещавшей обратить вспять старение, то его работа осталась бы незамеченной, да и пользы бы не принесла. Но Паттон пошел дальше. Цена на TA-65 сравнительно высока по сравнению с другими продуктами, которые примерно так же рекламируют, но на доходы с продажи этого лекарства удалось устроить клинические испытания, чтобы узнать, как оно влияет на старение. Пациенты сдавали кровь и проходили медицинский осмотр с целью обнаружить возрастные изменения в иммунитете, когнитивных функциях, плотности костей, артериальном давлении, зрении, эластичности кожи, работе суставов и так далее. Целью испытаний было узнать, действительно ли активаторы теломеразы приносят предсказанную пользу.

Впрочем, TA Sciences была в этом не одинока. Были и другие попытки устроить испытания теломеразы на людях и продемонстрировать ее потенциальные возможности для лечения болезней.

В начале 2003 года я работал исполнительным директором Американской ассоциации антистарения. Богатая чета филантропов пригласила меня в Калифорнию и предложила мне более 1 млрд долл. США – по сути, карт-бланш – на проведение клинических испытаний теломеразы. Они прочитали книгу «Обратить старение вспять» и поверили в ее потенциал. Я мог получить ресурсы, которые позволят мне вывести общую теломерную теорию старения из лабораторий и начать клинические испытания. Я позвонил Келу Харли и обсудил с ним, как лучше будет устроить медицинские испытания теломеразы. Мы были не одиноки: многие наши коллеги, и ученые, и медики, понимали потенциальные возможности теломеразы и были готовы к прорыву вместе с нами, так что мой проект пользовался большой поддержкой. Я планировал протестировать теломеразу на коленях (для лечения остеоартрита), коронарных артериях (для лечения атеросклероза) и даже собирался попробовать вылечить с помощью теломеразы болезнь Альцгеймера. У проекта были все необходимые технические и медицинские ресурсы, а теперь мы получили еще и необходимое финансирование. Но в последнюю минуту, буквально в ночь перед подписанием финансовых документов, спонсоры разругались между собой.

Молекулы астрагала

Циклоастрагенол, возможно, самый активный из этих компонентов, также известен как TAT2. Существуют и другие потенциальные активаторы теломеразы, включая GRN 510, AGS-499 и другие схожие по функциям.



После того, как предложение о финансировании моих клинических испытаний отозвали, в отрасли началась вялотекущая осадная война. Я написал первый (и до сих пор единственный) медицинский учебник о теломеразе – *Cells, Aging, and Human Disease*²³. Исследования теломеразы по большей части оставались чисто научными, но небольшой контингент ученых-биотехнологов и предпринимателей все-таки понимал медицинский потенциал и двигался вперед. Они основали немало небольших биотехнологических компаний, каждая из которых испытывала разные подходы к удлинению человеческих теломер в качестве метода лечения болезней.

За несколько лет до описываемых событий я сидел с Биллом Эндрюсом (изначально – директором по молекулярной биологии в Geron) на конференции в Италии и обсуждал с ним общую теломерную теорию старения. Мне не просто удалось убедить его в своей правоте: Билл вскоре стал ведущим исследователем в области клинического применения активации теломеразы. В 2003 году Билл основал в городе Рено, штат Невада, компанию Sierra Sciences и занялся высокоскоростными случайными проверками разных химических веществ в поисках лучших активаторов. Несмотря на проблемы с инвесторами и последующие финансовые трудности, Билл не отступился и сумел обнаружить более 900 потенциально ценных активаторов теломеразы. Некоторые из них были ядовиты или имели побочные эффекты, и даже

²³ New York: Oxford University Press, 2004.

лучшие кандидаты первоначально продемонстрировали лишь 6 % активности, необходимой для того, чтобы сделать человеческие клетки бессмертными (т. е. остановить их старение). Тем не менее, воспользовавшись этими веществами в качестве отправной точки, Биллу и его команде удалось создать более эффективные соединения: уже через два или три месяца в их распоряжении были вещества с низкой токсичностью и активностью 16 %, и они надеялись, что стопроцентная активность тоже вполне достижима.

Впрочем, как и в случае с Geron, оказалось трудно найти инвесторов, которые понимали клинический потенциал и были готовы в него поверить. Кроме того, финансы Sierra пострадали во время мирового кризиса 2008 года, и компании стало трудно как продолжать поиски, так и начать клинические испытания какого-либо из уже полученных веществ. Билл стал гастролировать с лекциями в попытке привлечь внимание широкой публики к научным данным и их клиническому потенциалу, а также найти новых инвесторов. Билл и его команда просто одержимы поисками активаторов теломеразы, и я не сомневаюсь, что Sierra Sciences продолжит исследования, несмотря на все препятствия.

TA Sciences пытается вывести активаторы теломеразы на рынок в виде нутрицевтических препаратов, Sierra Sciences ищет высокоэффективные активаторы, а вот еще одна группа, возглавляемая ученым Барри Флэнери, попробовала другой подход: она ищет способы непосредственной доставки теломеразы в организм. В 2005 году в компании Phoenix Biomolecular он попытался использовать новую технологию доставки белка теломеразы в клетки. Надежд было много, но из-за многочисленных трудностей – в основном делового и финансового характера – Phoenix пришлось закрыться, несмотря на технический прогресс и клинический потенциал подобного подхода.

К концу десятилетия единственные практические результаты удалось получить в клинических исследованиях, которые финансировала TA Sciences. Они собрали данные о сотнях пациентов, принимавших таблетки с активаторами теломеразы с 2007 года. Первая статья, основанная на этих клинических данных, была опубликована в 2011 году²⁴, вторая – два года спустя²⁵. В обеих статьях рассматривались измеримые изменения длины теломер в лейкоцитах, а также свидетельства реального улучшения клинических биомаркеров, например работы иммунитета и артериального давления, с возрастом. В статье 2011 года было доказано, что иммунную функцию действительно можно восстановить (т. е. заставить работать так же эффективно, как у молодых людей) с помощью таблеток теломеразного активатора TA-65. В статье 2013 года показали, что подобным же образом можно восстановить уровни холестерина (как высокой, так и низкой плотности), глюкозы и инсулина. Эти результаты были довольно значительными, но по-настоящему драматичного омоложения добиться не удалось, так что многим из нас захотелось найти более эффективные способы удлинения человеческих теломер.

Использование астрагалозидов, полученных из *Astragalus membranaceus*, было запатентовано Geron Corporation в 2000 году; в 2002 году TA Sciences получила эксклюзивную лицензию на применение этой технологии. Несмотря на эти ограничения, в Интернете появилось несколько альтернативных ресурсов – то ли легальных, то ли нет, то ли надежных, то ли нет, – которые тоже якобы предлагают астрагалозиды для использования в качестве активаторов теломеразы. Легальность, источник и чистота этих

²⁴ Harley C. B. et al. "A Natural Product Telomerase Activator As Part of a Health Maintenance Program." *Rejuvenation Research* 14 (2011): 45–56.

²⁵ Harley C.B. et al. "A Natural Product Telomerase Activator As Part of a Health Maintenance Program: Metabolic and Cardiovascular Response." *Rejuvenation Research* 16 (2013): 386–95.

веществ крайне спорны, а их эффективность как активаторов теломеразы трудно оценить или доказать. Многочисленные споры и противоречивые заявления сделали рынок трудным и непонятным и для потребителей, и для поставщиков.

В первое десятилетие нового века мы наблюдали определенный прогресс, а также немало неудач в коммерческой разработке терапий, обращающих вспять старение. Но вот в университетских лабораториях по всему миру было проделано немало многообещающей работы. Большинство исследований были чисто научными – в том числе труды Блэкберн, Грейдер и Шостака, отмеченные Нобелевской премией. Более практичной (и важной) работой занимались люди, видевшие клинический потенциал этой отрасли. Среди них – Рита Эффрос (Калифорнийский университет в Лос-Анджелесе), работавшая над иммунным старением и активаторами теломеразы, Рон Де Пиньо (тогда – Гарвард), показавший, что может, по сути, обращать вспять старение в некоторых генетически модифицированных животных, и Мария Бласко (Испанский национальный центр исследования рака, Мадрид), которая тоже смогла обратить вспять многие аспекты старения у нескольких видов животных.

В целом и научный, и коммерческий прогресс показал даже самым завзятым скептикам, что теломераза все же обладает определенным потенциалом, но этот прогресс был ужасно медленным. С другой стороны, появилось новое поколение ученых, которые считали главную роль теломер в старении чем-то вполне естественным и очевидным. Широкая публика тоже постепенно начала верить в роль теломер и пользу теломеразы – хотя эти верования часто оказывались ошибочными или слишком драматичными. Сайты, телепередачи, салоны и различные коммерческие предприятия заявляли, что обладают самой новейшей информацией о том, как травы, медитация, диеты, таблетки и другие якобы эффективные методы влияют на длину теломер. Многие из этих методов и продуктов даже прямо рекламировались как «удлиняющие теломеры» – причем ясно подразумевалось, что укорочение теломер вызывает старение у людей. В целом большинство этих продуктов оказались неэффективными, а почти все остальные показали лишь минимальную эффективность. Даже самое эффективное из известных веществ, циклоастратегенол, оказалось совсем не настолько эффективным, как нам хотелось бы.

К 2013 году таблетки TA-65 от TA Science оставались единственным теломеразным активатором в продаже, но несколько других компаний рассматривали возможность разработки кремов для кожи, ветеринарных продуктов и лекарственных средств (а не просто БАДов), основанных на различных активаторах теломеразы.

Часть третья Перезапуск

*Любая истина проходит три стадии.
Сначала над ней насмеваются.
Потом ей яростно сопротивляются.
Наконец, ее принимают как самоочевидную²⁶.*

Если 90-е годы были десятилетием надежды, а в 2000-х наступил спад, то 2010-е стали временем нового начала. Широкая публика начинала постепенно понимать, что процесс старения все-таки можно изменить, а теломеры играют в этом главную роль. Все больше людей хотели обратить старение вспять, удливив свои теломеры, и все больше коммерческих компаний пытались удовлетворить этот спрос. По крайней мере один продукт действительно демонстрировал соответствующую активность, но появились еще и несколько компаний, предлагавших услуги по измерению теломер. Эти компании «выросли» из университетских исследовательских лабораторий и, подобно все растущему числу компаний, предлагавших услуги по определению генов и мутаций своих пациентов, они предложили измерять «теломерный возраст».

Первой из этих компаний стала Telomere Diagnostics, основанная Келом Харли и базирующаяся в Менло-Парке, штат Калифорния. Вторая компания – Life Length, основанная Марией Бласко в Мадриде. Эти компании используют разные подходы, но обе они предлагают измерить длину теломер и на их основе оценить, насколько вы постарели и каков риск развития болезней. У этих компаний неплохой потенциал на клиническом рынке – например, в госпиталях и поликлиниках, – но они еще и являются хорошим индикатором растущего интереса и веры в важную роль, которую длина теломер играет в старении и болезнях людей²⁷. Кроме того, существование компаний и лабораторий, измеряющих длину теломер, облегчило задачу по проведению исследований, необходимых для начала клинических испытаний удлинения теломер в качестве средства лечения возрастных заболеваний. Люди внезапно заинтересовались разработкой практических методов использования теломеразы для восстановления экспрессии генов и лечения возрастных заболеваний.

Даже научная литература, когда-то ограничивавшаяся лишь мелкими деталями, начала меняться. Появлялись все новые статьи, где обсуждалась ценность измерения теломер или различные методы их удлинения – с помощью диет, медитаций или пищевых добавок. Случился и более фундаментальный сдвиг: ученые, работавшие с теломеразой, стали использовать ее для вмешательства в процесс старения и лечения возрастных заболеваний у животных. Потенциал теломеразы для клинической медицины наконец-то признали.

Раз мы можем обратить вспять возрастную дегенерацию у крыс, почему нельзя сделать это и у человека с болезнью Альцгеймера? Но ученые с большой неохотой говорят о возможности применения теломеразы для лечения человеческих болезней.

Хотя уже рассматривались и активаторы теломеразы, и теломеразный белок, хотя уже проводились неформальные клинические испытания с применением астрагалозидов, никто так и не решился на смелый шаг – начать полноценные клинические испытания на людях.

²⁶ *Этот афоризм часто неверно приписывается Артуру Шопенгауэру, который однажды написал о принятии новых идей нечто совсем другое. Снимаю шляпу перед его настоящим автором.*

²⁷ Fossel, M. "Use of Telomere Length as a Biomarker for Aging and Age-Related Disease." *Current Translational Geriatrics and Experimental Gerontology Reports* 1 (2012): 121–27.

К 2010 году появилось несколько способов доставки теломеразы в организм, в том числе аденовирусы и липосомы. Аденовирусы уже успешно используются, в частности, Марией Бласко в Мадриде²⁸. Липосомы, как мы знаем, испытывают определенные трудности с проникновением в клетки, но они тоже могут сработать. Проблема с использованием искусственных липосом состоит в том, что убедить организм впустить их в нормальные клетки или позволить пересечь гемато-энцефалический барьер довольно сложно – это распространенная проблема фармакологии.

В 2013 году несколько бывших сотрудников закрывшейся биотехнологической компании Phoenix Biomolecular попытались привлечь меня и Кела Харли к проекту. Они хотели использовать липосомы для транспортировки генов теломеразы, как я предлагал еще 20 лет назад. Я всеми силами пытался убедить их применить эту технологию не в косметической отрасли, а в клинических испытаниях для лечения болезни Альцгеймера. К сожалению, рабочей бизнес-структуры создать так и не удалось, и, несмотря на весь потенциал, проект из-за плохого исполнения потерпел неудачу.

Успешные венчурные проекты требуют не только финансирования и таланта бизнесмена, но и ясного понимания реальности. Как не раз подчеркивалось в этой главе, главная причина, по которой за последние 20 лет никто так и не устроил клинических испытаний теломеразы, состоит в том, что многие участники процесса – инвесторы, менеджеры, ученые – с большим трудом понимают и принимают изменения в концепции. Не считая нескольких медицинских статей и одного учебника, теломерную теорию старения практически нигде не объясняли, так что даже ученые часто понимают ее неправильно. Ключевая проблема никуда не делась: людей по-прежнему почти невозможно убедить, что старение можно обратить вспять. Идея инвестиций в биотехнологическую компанию, которая хочет обратить вспять человеческое старение, провальна с самого начала. Стартаперы-биотехнологи, которые начинают разговор с группой венчурных капиталистов с фразы «Мы можем остановить старение, а не просто вылечить возрастные заболевания», обречены.

Можем ли мы устроить испытания теломеразы на людях?

Да, но только благодаря тактичности, терпению и данным. Когда я пишу эти строки, мы стоим на пороге крупномасштабных испытаний на людях, в которых будут использоваться некоторые из существующих подходов к удлинению человеческих теломер: активация теломеразы, теломеразные гены, теломеразная РНК или теломеразные белки. Препятствия к лечению возрастных заболеваний вроде болезни Альцгеймера – уже не технические. Они связаны лишь с нашей неспособностью организовать и сделать несколько шагов, необходимых для того, чтобы наконец превратить работу с человеческими клетками в испытания на людях.

За последние 25 лет в теломерной отрасли наметились две четкие дороги: фундаментально-научная и клиническая. Первая дорога – фундаментальная наука – получила намного большее признание (в том числе даже Нобелевскую премию), но, несмотря на все достижения, она практически никак не повлияла на жизнь обычных людей. Вторая дорога – лечение человеческих болезней – получила признание лишь совсем недавно, но именно она имеет поистине историческое значение.

Фундаментальная наука началась с наблюдения, что старение клеток связано с изменением длины теломер. Этот взгляд – ограниченная теломерная теория старения – получил признание примерно лет через 20

²⁸ de Jesus, B. et al. "Telomerase Gene Therapy in Adult and Old Mice Delays Aging and Increases Longevity without Increasing Cancer." *EMBO Molecular Medicine* 4 (2012): 1–14.

после того, как был сформулирован. А вот возможность лечить болезни основана на идее, что, хотя теломеры заставляют клетки стареть, именно клеточное старение заставляет людей стареть и вызывает возрастные заболевания. Этот более широкий взгляд – общая теломерная теория старения – был сформулирован 20 лет назад и только сейчас получает признание. Клинический прогресс сдерживала неспособность понять и принять новые идеи, но в последние несколько лет мы снова начали двигаться вперед. И ученые, и широкая публика начинают все лучше разбираться в этом вопросе, а мы начинаем работать над самым грандиозным в истории прорывом в медицине.

Мы вот-вот вылечим старение и связанные с ним заболевания.

Глава пятая

Непосредственное старение: лавинообразный эффект



Когда мы думаем о старении, то перестаем думать.

Мы забываем о самом старении и сразу сосредотачиваемся на болезнях, его сопровождающих. Некоторые из них излечимы – в частности, кое-какие виды рака; у других мы в лучшем случае можем облегчить симптомы. Что же касается самого старения, мы можем либо тихо и мирно уйти в ночь, либо до последнего грозить кулаком небесам, в которых гаснет свет, но, так или иначе, старость кажется неотвратимой.

Поскольку до недавнего времени мы вообще не понимали, как и почему наступает старость, мы считали, что это неизбежный факт жизни. Так что медицинский подход к старению был чисто паллиативным. Мы добровольно закрылись от любых других альтернатив.

Потрясающе, насколько же иначе мы смотрим на все другие заболевания!

Инфекционные болезни вызывают совершенно другую реакцию: «Что мы можем сделать, чтобы вылечить или предотвратить инфекцию и снова сделать людей здоровыми?» Мы изобрели иммунизацию, благодаря которой практически полностью уничтожили, например, оспу и полиомиелит. Мы разработали антибиотики, противовирусные и противогрибковые средства, новаторские способы борьбы с сепсисом. Мы даже расшифровали геномы инфекционных микробов. «Что дальше?» – думаем мы. Сейчас, конечно, мы беспокоимся – и не зря – из-за резистентности к антибиотикам, но наша реакция все равно остается оптимистичной, динамичной и нацеленной на инновации.

Но ничего подобного не происходит, когда мы рассуждаем о возрастных заболеваниях. Мы примиряемся со старением пассивно, без вопросов, молча.

Наша жизнь начинает подходить к концу в тот день, когда мы начинаем молчать о том, что на самом деле важно.

Мартин Лютер Кинг

Пришло время изменить нашу жизнь до того, как она закончится, потому что возрастные болезни важны для каждого из нас. Чтобы сделать это, мы должны понимать болезни, которые медленно подтачивают нашу жизнь. Мы должны знать, как работает процесс старения – это описано во второй главе, – а также понимать, каким сочетанием генов и теломер вызываются заболевания, которые мы собираемся лечить. Как вы увидите, наши гены работают не в одиночку, и они вовсе не обязательно определяют нашу судьбу. Сами наши гены неизменны и очень влиятельны, причем их предназначение может быть сложным и даже скрытым. Но, тем не менее, у генов *могут* меняться паттерны экспрессии – это реакция на изменения теломер, окружающей среды, нашего поведения. Ни теломеры, ни образ жизни не могут изменить наших генов, но вот экспрессия генов бывает разной: она реагирует на все, что происходит с вами, вашими тканями, клетками и теломерами.

Часто считается, что гены – это всемогущие руководители, что «гены вызывают болезни», так что люди спрашивают: *какие гены какие болезни вызывают?* Это примерно так же неверно, как считать, что теломеры вызывают старение: гены ассоциируются с болезнями, иногда действительно являются причиной, но причинно-следственные связи при изу-

чений болезней никогда не бывают простыми. Если посмотреть на большинство возрастных заболеваний, то гены не «вызывают» этих заболеваний, а укорочение теломер не «вызывает» старение.

Реальность куда менее очевидна.

Если попытаться сформулировать кратко, то можно сказать так: *возрастные заболевания развиваются, когда из-за укорочения теломер проявляются наши генетические изъяны*. Чтобы понять взаимоотношения генов и старения – особенно возрастных заболеваний, – давайте вернемся к аналогии из второй главы, где мы сравнили старение – результат укорочения теломер – с плаванием по большому озеру, уровень воды в котором становится все меньше. Чем меньше глубина, тем больше вероятность того, что корабль наткнется на скалу или сядет на мель. В конце концов навигация по этому водоему становится невозможной. Когда мы молоды и наши теломеры длинные, нам не стоит бояться кораблекрушения. Но когда теломеры укорачиваются, опасность наткнуться на риф на небольшой глубине все увеличивается. В конце концов это случается с каждым из нас.

Вот как выглядит настоящее отношение между генетической предрасположенностью и возрастными заболеваниями. Примерно такое же отношение и между образом жизни и возрастными заболеваниями. Ген, увеличивающий риск сердечных заболеваний, не проявляет себя атеросклерозом, когда вам 5 лет, но вот к 50 годам может вас убить. Точно так же отсутствие физических нагрузок, плохой рацион питания и курение тоже не вызовут сердечного приступа сразу, но вполне могут, когда вы постареете. Скорее всего, на возрастные болезни влияет не только время, в течение которого вы подвергались воздействию факторов риска, но и постепенная эрозия теломер (которую часто ускоряют эти самые факторы риска).

Когда мы рассматриваем гены, коррелирующие с возрастными заболеваниями, например, APO-E4 для болезни Альцгеймера или гены, влияющие на усвоение холестерина, при атеросклерозе, стопроцентное их совпадение не встречается никогда (т. е. у некоторых людей есть ген, но нет болезни, а некоторые болеют, но гена у них нет). Тем не менее, существует упрощенное мнение: если мы сможем обнаружить все гены, «вызывающие» заболевание, то сможем с уверенностью предсказать это заболевание. На самом деле болезнь вызывается не *генами*, а их *экспрессией*, а экспрессия генов контролируется множеством факторов – в том числе и теломерами.

Гены вызывают или не вызывают болезни в зависимости от того, *какова их экспрессия и в каких обстоятельствах*.

«Опасный ген» или ген, «вызывающий болезнь», не доставляет никаких проблем, если его экспрессия недостаточна или он проявляет себя только в правильных обстоятельствах. Среди этих обстоятельств – ваш рацион питания, образ жизни, окружающая среда, другие гены и ваш возраст. Гены, совершенно безвредные в молодости, могут стать смертельно опасными в старости.

Теломеры с возрастом укорачиваются, и из-за этого у многих генов меняются паттерны экспрессии. У одних экспрессия усиливается, у других – ослабевает, у третьих меняется реакция на другие гены или изменения окружающей среды. Если мы считаем, что заболевания вроде болезни Альцгеймера и атеросклероза просто вызываются специфическими генами, воздействие которых накапливается со временем, то придется сделать вывод, что с возрастными заболеваниями просто ничего нельзя сделать (разве что изменить гены). Если же мы признаем сложную реальность – что изменения экспрессии генов вызываются укорочением теломер, – то вывод будет совсем другим: мы *можем* много чего сделать с возрастными заболеваниями.

Если мы поймем, как старение вызывает болезни, то сможем и понять, как вылечить болезнь.

Если возрастные болезни вызываются изменениями экспрессии генов из-за укорочения теломер, то, снова удлинив эти теломеры и восстановив экспрессию генов, мы сможем вылечить возрастные болезни. Возвращаясь к нашей метафоре – если мы увеличим глубину, то скалы и отмели уже не будут представлять опасность, и мы снова сможем безопасно плыть по жизни.

Давайте для примера рассмотрим простую проблему, проявляющуюся с возрастом: варикозное расширение вен. Обычно считается, что это результат десятилетий воздействия гравитации. Если у одних людей варикозное расширение вен развивается чаще, чем у других, то мы предполагаем, что это просто генетическое разнообразие.

Варикоз накапливается, и сделать с этим ничего нельзя – разве что операцию, которая по большей части косметическая. Но что, если варикоз – это *не просто* функция времени и гравитации и зависит от постепенных изменений экспрессии генов? Что, если он возникает не из-за старости как таковой, а из-за накапливающихся повреждений клеток, которые плохо ремонтируются? Если это так, то, восстановив паттерны экспрессии генов, мы, возможно, даже сможем помочь тканям восстановить повреждения. Мы не можем обратить часы вспять, но теломерная теория открывает нам двери к остановке физического старения.

Сегодня мы видим столкновение давно укоренившихся предрассудков и новых идей.

Предрассудок – который разделяют и широкая публика, и ученые, и исследователи, – состоит в том, что старение считается простым пассивным накоплением повреждений, в которое невозможно никак вмешаться. Старение нельзя остановить, а возрастные заболевания невозможно вылечить. Возрастные заболевания можно только терпеть или, в лучшем случае, применять симптоматическое или косметическое лечение. Вы не можете изменить гены или остановить течение времени. Мы можем вылечить или предотвратить многие инфекционные болезни, но вот возрастные заболевания – неотвратимая судьба всех нас. *Чему быть, того не миновать.*

В истории человечества главным препятствием для многих важнейших достижений была уверенность, что изменения невозможны. Такие предположения всегда превращаются в «пророчества, исполняющие сами себя». Мы прогрессируем лишь тогда, когда бездумные предрассудки разрушаются прозорливым пониманием. В данном случае прозорливая идея состоит в том, что старение и связанные с ним болезни – это сложный, динамичный результат постепенных изменений экспрессии генов, последствия которых можно по большей части обратить вспять, а удлинение теломер – эффективная точка медицинского вмешательства в процесс старения и возрастные заболевания.

В этой главе мы рассмотрим *непосредственные* возрастные заболевания – те, при которых патология проявляется именно в той клетке, которая стареет. В следующей главе мы обратим внимание на *косвенные* возрастные заболевания – те, при которых стареющие клетки становятся причиной патологии в других, обычно не стареющих клетках – «мирных наблюдателях».

Стареть – это как плавать: чем меньше глубина, тем больше вероятность того, что корабль сядет на мель. Пока мы молоды, нам не страшны рифы, но с каждым годом вероятность наткнуться на них все больше – и это происходит рано или поздно.

Непосредственные возрастные заболевания – это «лавина» клеточной патологии, которая начинается, когда из-за старения нарушаются функции клетки. Один из примеров непосредственного старения – остеоартрит (его мы подробнее рассмотрим позже), при котором клетки, устилающие, например, коленный сустав, медленно теряют длину теломер, изменяют экспрессию генов и становятся нефункциональными; это приводит к постепенному уменьшению поверхности сустава, боли и даже инвалидности. Клетки, устилающие суставы

– хондроциты, – страдают от непосредственного старения и в конце концов отказывают, вызывая артрит.

Давайте воспользуемся моделью, чтобы понять, как старение клетки вызывает непосредственное возрастное заболевание. Выдумаем клетку, запишем в нее пару генов, добавим парочку белков и посмотрим, что происходит, когда клетка стареет. Сделаем клетку (и нашу дискуссию) нереалистично простой – ради примера и ясности.

Существует ген, который, как считается, играет роль в старении: он производит фермент супероксиддисмутазу (СОД). (На самом деле СОД – это семейство из нескольких разных ферментов, но для простоты предположим, что он один.) СОД играет важнейшую роль в отлавливании свободных радикалов, которые выбираются из митохондрий и повреждают клетки.

Итак, в нашей клетке есть несколько «игроков»: теломера, ген СОД, сама СОД, свободные радикалы и молекула единственного типа – «главный продукт» клетки, в данном случае – белок, необходимый для строительства и поддержки мускулов.

Предположим, в нашей молодой клетке находится 100 молекул СОД и 100 молекул белка. Этот набор *динамичен*, потому что каждый день наша воображаемая клетка создает 50 новых молекул СОД (анаболизм) и разрушает и перерабатывает 50 старых молекул СОД (катаболизм). То же самое происходит и с молекулами белка. Оба набора молекул всегда одного и того же *размера*, но конкретные молекулы постоянно меняются: молекулы разные, но их в наборе всегда ровно 100. Поскольку разрушение происходит случайным образом, примерно половина всех молекул СОД – сегодняшние, а другая половина немного «постарше», пусть и не очень много. Точно так же выглядит и набор молекул белка: половина – новые, половина чуть «постарше».

К сожалению, это типичная живая клетка, так что по ней рыщет множество свободных радикалов, случайным образом повреждающих любую встречную молекулу. Давайте предположим, что свободных радикалов достаточно, чтобы каждый день повреждать примерно 1 % молекул в клетке. Конечно, эти свободные радикалы повредили бы намного больше молекул, если бы их не наши «полицейские», СОДы, которые «арестовывают» свободные радикалы раньше, чем они успевают устроить настоящее бесчинство.

Составим формулу, по которой можно рассчитать процент повреждения нашей клетки (М – скорость метаболического обновления, которая уменьшается с возрастом):

$$x = 1 + [x(100 \% - M) / 100]$$

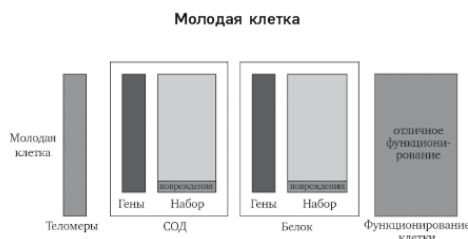
• В нашей *молодой* клетке мы заменяем 50 % (0,5) всех молекул в день, а свободные радикалы повреждают 1 % всех молекул в день. Количество (x) поврежденных молекул в наборе – 2 %.

• Но в *старой* клетке мы заменяем лишь 2 % (0,02) всех молекул в день, а свободные радикалы по-прежнему повреждают 1 % молекул в день. Количество (x) поврежденных молекул в наборе вырастает до 50 %.

Итак, в нашей молодой клетке около 2 % молекул СОД просто не работают, а примерно 2 % молекул белка повреждены – это нормально. Размер наборов и скорость метаболического обновления достаточны, чтобы справиться с повреждениями без лишних энергозатрат. У молодых клеток высокая скорость метаболизма (они используют много энергии), высокая скорость обновления, а поврежденных молекул настолько мало, что на них можно не обращать внимания.

В старой клетке, однако, теломеры стали короче, так что скорость экспрессии генов, кодирующих СОД и белок, уменьшилась. В результате метаболическое обновление происходит медленнее. Вместо того чтобы заменять по 50 молекул СОД и белка в день, старая

клетка заменяет всего по 2 молекулы в день. В клетке осталось столько же молекул, но вот скорость обновления намного меньше. Молекулы, поврежденные свободными радикалами, «задерживаются» дольше, так что количество молекул, которые не работают, повышается с 2 до 50 %. Это происходит не потому, что у нас становится больше свободных радикалов, и не потому, что поврежденные молекулы не заменяются: проблема состоит в том, что мы заменяем молекулы не так быстро, как в молодой клетке.



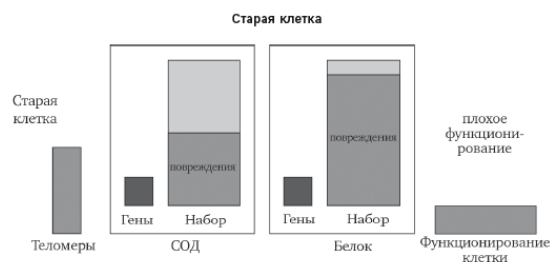
В молодых клетках теломеры длинные, экспрессия генов высокая, повреждения низкие, клетки полностью функциональны.

На самом деле все еще хуже. Поскольку молекулы СОД защищают молекулы белка в нашей клетке от повреждения свободными радикалами, количество поврежденных молекул белка возрастает даже не до 50, а, скажем, до 80 %. И это не самое худшее. Поскольку молекулы СОД с большей вероятностью оказываются повреждены, они не могут защитить даже *себя* от повреждений, так что в наборе молекул СОД повреждений тоже будет больше, чем можно предположить по формуле. Это замкнутый круг. В формуле предполагается, что количество повреждений остается постоянным (1 % в день), но сейчас скорость повреждений растет, а вот скорость обновления уменьшается. Так что молекулы белков в нашей клетке повреждены еще сильнее, чем мы думали. Вместо 80 % повреждены, возможно, все 90 %.

А ведь единственное, что мы сделали – замедлили скорость экспрессии генов.

Мы не увеличивали количество свободных радикалов, производимых клеткой. Сами повреждения тоже непостоянны. Мы просто не успеваем ремонтировать повреждения так же быстро, как в молодых клетках. Данные цифры (например, скорость ремонта) – это просто примеры, демонстрирующие возможный эффект, но экспрессия генов действительно замедляется с возрастом для многих белков, и общий эффект довольно реален. Более того, в настоящих клетках митохондрии действительно начинают производить больше свободных радикалов и «протекать» сильнее, чем в молодых клетках – все это происходит из-за замедленного обновления молекул. Наконец, свободные радикалы – это не единственный источник повреждения молекул. В настоящих клетках реальность практически бесконечно сложнее, но эффект старения остается тем же: когда теломеры укорачиваются, клетки теряют молодость и начинают стареть.

Укорочение теломер создает лавину нарушений функциональности, которая приводит к болезням.



В старых клетках теломеры короткие, экспрессия генов низкая, повреждения заметно возрастают, функциональность клетки ухудшается.

Именно так и развиваются возрастные заболевания у людей. При непосредственных возрастных заболеваниях результат проявляется внутри единственного типа клеток – например, хондроцитов, лейкоцитов, фибробластов и т. д. Старение каждого типа клеток приводит к типичному возрастному заболеванию. В оставшейся части главы мы рассмотрим конкретные возрастные заболевания и органы, в которых «обитает» каждое из этих заболеваний. Все возрастные болезни сходны в одном: на данный момент они неизлечимы. Нет, в каком-то смысле это утверждение неверно. Например, мы можем заменить суставы, сделать коронарное шунтирование, контролировать уровень холестерина, глюкозы и артериального давления. Но не существует ни одного возрастного заболевания, которое мы можем вылечить, предотвратить или даже замедлить с помощью нынешних медицинских средств. Ни одного. Рассматривая каждую из болезней, мы взглянем и на современные методы терапии и увидим, что если не удастся удлинить теломеры, то и пациентов, и врачей, и здравоохранение в целом ждет очень мрачная перспектива.

Я, конечно, хочу дать читателям представление о цене, которую приходится заплатить за возрастные заболевания – с точки зрения как человеческих страданий, так и непосредственных затрат на лечение, – но цифры, которые я даю, очень неточные. Собрать надежную статистику по всему миру просто невозможно. Например, количество пациентов с болезнью Альцгеймера довольно легко узнать в США, Великобритании и Австралии, но практически невозможно – в некоторых странах Африки или Восточной Европы. По этой причине большинство своих цифр я привожу на основе данных, доступных в Соединенных Штатах.

Кроме того, многие цифры не очень четко определены. Например, медицинское диагностирование болезни Альцгеймера в последнее время заметно изменилось, благодаря, в частности, использованию новых диагностических биомаркеров.

Наконец, убытки очень трудно подсчитать, да и определений у них несколько. Что нужно измерять: страховые выплаты, затраты на пребывание в больнице, государственный бюджет на медицину или еще что-то? Включать в расчет только «прямые издержки» на госпитализацию, операции и лекарства, или «косвенные издержки» тоже – медицинский уход, получаемый от членов семьи, не являющихся врачами, потерянные возможности для работы и прочие менее осязаемые вещи?

Тем не менее, приближенные цифры тоже важны, даже с допуском плюс-минус несколько миллиардов долларов или плюс-минус миллион человек, страдающих от возрастных заболеваний. Поскольку цифры просто огромны, даже такое приближение вполне допустимо. Да и вряд ли людей, которые страдают от болезней, интересуют истинные масштабы бедствия.

Если мы не сможем по-настоящему вмешаться в процесс, если не сможем удлинить человеческие теломеры, то один факт останется неизменным и неизбежным: в долгосрочной перспективе эти болезни ждут всех.

Если же говорить о самих болезнях, то ключевой вопрос – медицинское вмешательство. Можем ли мы предотвратить или вылечить болезнь? Во всех случаях это вопрос практики и сострадания, а не академический или чисто научный. Мне неважно, получите ли вы глубокое научное понимание каждой возрастной человеческой болезни; для меня главное – чтобы вы разобрались в человеческой стороне этих болезней и поняли, что они вызываются клеточным старением, а с помощью теломеразной терапии их, возможно, удастся вылечить. Сейчас есть все причины относиться к старению не как к неизбежному и таинственному явлению, а как к набору конкретных изменений, вызывающих конкретные болезни, которые можно смягчить или даже вылечить теломеразной терапией. Мы будем рассматривать возрастные заболевания в первую очередь с точки зрения профилактики и лечения.

Начнем мы с иммунной системы, защищающей нас от самых разнообразных заболеваний – инфекционных, злокачественных и аутоиммунных – и затрагивающей все тело. Очень многие пожилые люди умирают от инфекций и рака, а не от болезни Альцгеймера, атеросклероза, хронической обструктивной болезни легких (ХОБЛ) или других чисто возрастных патологий – даже если эти возрастные болезни и присутствуют. С этой точки зрения старение иммунной системы – слабое звено в цепи, и именно оно является последним «общим делителем» для очень многих смертей пожилых людей.

После этого мы рассмотрим и другие болезни с точки зрения старения клеток или органов. Начнем с суставов и костей (остеоартрит и остеопороз), затем перейдем к мышцам, коже, гормонам, легким, пищеварительной системе, почкам, органам чувств и так далее. А потом, в следующей главе, внимательно присмотримся к двум самым проблемным возрастным заболеваниям – болезни Альцгеймера и атеросклерозу.

Иммунная система

Иммунная система вездесуща, ни на секунду не прекращает работы и критически важна для выживания.

Как и в случае с нервной системой, иммунная обладает и тем, что можно назвать инстинктами, и более сложными, усвоенными моделями поведения. Уже при рождении ваши иммунные клетки вполне способны распознать самые разные внешние угрозы, но, взрослея и набираясь опыта, они становятся более компетентными и разборчивыми. С каждым вторжением вируса, бактерии или грибка, с каждой новой потенциальной раковой клеткой ваше тело становится все искуснее в отражении угроз.

Как и в случае с нервной системой, несмотря на то, что обучение продолжается в течение всей жизни, работа иммунной системы ограничивается постепенной и неотвратимой потерей памяти. Молодая иммунная система наивна, но энергична, а старая иммунная система знает больше, но работает она медленнее и более неуклюже. Одряхление иммунной системы выражается не в том, что она *не распознает* незваного гостя – например, пневмококковую пневмонию, – а в том, что она *реагирует слишком медленно и невнятно*, чтобы справиться с инфекцией раньше, чем она убьет весь организм – например, заражением крови. Судьба стареющей иммунной системы трагична и напоминает старую шутку о патологоанатомах: «Они все знают, все умеют, но помочь пациенту уже не могут».

Клетки иммунной системы вырастают из стволовых клеток костного мозга, как и эритроциты. Их «родословная» разделяется на две основные ветви: лимфоциты и миелоциты. Лимфоциты – их так назвали потому, что эти клетки циркулируют не только в кровеносной, но и в лимфатической системе – включают в себя натуральные киллеры (NK-клетки), Т-клетки и В-клетки. Вместе эти лимфоциты обеспечивают функционирование большей части иммунной системы. В группу миелоцитов входят тромбоциты (они способствуют свертываемости крови), эритроциты (красные кровяные тельца, переносящие кислород) и различные лейкоциты (белые кровяные тельца – базофилы, нейтрофилы, эозинофилы и макрофаги), тоже являющиеся частью иммунной системы.

У каждого из этих типов клеток есть собственные особые функции, шаблоны поведения и деления клеток; это значит, что каждый из компонентов иммунной системы стареет слегка по-разному. Соответственно, иммунная система не просто отказывает с возрастом – она отказывает самыми неожиданными способами, и не вся целиком.

Стареющая иммунная система не останавливается: она беспорядочно машет руками, брызгает слюной и, не разбирая дороги, блуждает по телу со все меньшей эффективностью.

Иммунное старение – нередкая причина болезней и смерти пожилых людей, но его редко замечают и еще реже диагностируют. Клинические проявления – то, что мы видим и пытаемся лечить – включают в себя хронические воспаления, ревматоидный артрит, аутоиммунные болезни, повышенный риск развития пневмонии, сепсиса, целлюлита, опоясывающего лишая и, в некоторых случаях, различных форм рака. С возрастом слегка снижается количество лейкоцитов в периферической крови, но само по себе это не повышает риска инфекции. Более того, у большинства пожилых пациентов при инфекции иммунный ответ – повышение уровня лейкоцитов – возникает так же быстро, как и в молодости. Более того, у многих пожилых пациентов лейкоцитов в периферической крови даже больше нормы, и это часто коррелирует с атеросклерозом; у многих пострадавших от инфаркта или инсульта незадолго до события наблюдался повышенный уровень лейкоцитов. Короче говоря, проблема стареющего иммунитета – это не просто слишком малое (или большое) количество лейкоцитов в кровеносной системе, а реакция иммунной системы в целом. Вместо аккуратного, точного ответа на инфекцию старая иммунная система может реагировать, когда

инфекции вообще нет – вызвав неуместное и хроническое воспаление, – а может не реагировать на настоящую инфекцию. Дело не в том, что она не отвечает на угрозы, а в том, что ответы часто становятся неверными – либо слишком медленными, либо направленными не на ту цель.

Как и у других активно делящихся клеток организма, у иммунных клеток с возрастом укорачиваются теломеры, хотя не у всех они укорачиваются одинаково. Например, В-лимфоциты обычно делятся в костном мозге, до того, как поступить в кровеносную систему, а вот Т-лимфоциты чаще делятся уже после выхода в кровообращение. Кроме того, на самом деле лишь примерно каждая тридцатая иммунная клетка циркулирует в кровеносных сосудах: остальные находятся в тканях, особенно лимфатических, а способ и время выхода в кровеносную систему свой для каждого типа клеток.



Различные типы клеток иммунной системы, разделенные на кровяную и лимфатическую ветвь; все они вырастают из стволовых клеток костного мозга.

У В-лимфоцитов есть специфический шаблон старения. Примерно 2 % всех В-лимфоцитов в организме обновляются каждый день, хотя с возрастом этот показатель существенно снижается. Количество лимфоцитов остается относительно постоянным, потому что деление клеток уравнивается их смертью в лимфоузлах и тканях. Даже когда количество лейкоцитов в периферической крови растет, например, при инфекциях, это скорее результат выхода уже существующих клеток в кровеносную систему, чем создания новых лимфоцитов путем деления. В-клетки первоначально появляются из стволовых клеток костного мозга, но эти клетки незрелые и требуют «редактирования».

Самые активные В-клетки (те, которые могут вызвать аутоиммунные заболевания) уничтожаются еще до выхода из костного мозга. Лимфоциты, покидающие костный мозг, циркулируют в крови до тех пор, пока либо не встретят свой специфический антиген и активируются, либо умрут. После попадания в кровеносную систему они продолжают делиться, особенно внутри селезенки. Средняя длина теломер В-лимфоцитов в кровеносной системе зависит от баланса между сравнительно новыми и старыми клетками. Новые клетки появляются в результате недавних делений стволовых клеток и, соответственно, их теломеры короче; более старые В-клетки, играющие роль «памяти», живут дольше и имеют более длинные теломеры.

У Т-лимфоцитов, с другой стороны, все работает совсем иначе. В-клетки делятся в начале своего жизненного цикла и перестают делиться после столкновения с антигенами, когда превращаются в В-клетки памяти; Т-клетки же поначалу, в вилочковой железе, делятся очень нечасто, а вот после активации начинают делиться часто. Общее количество Т-клеток остается более-менее постоянным, но скорость деления клеток выше на периферии. В результате у Т-клеток, пробывших в кровеносной системе дольше всего, теломеры будут самыми короткими, а у тех, которые появились совсем недавно – самыми длинными.

Более того, измерение длины теломер в лимфоцитах периферической крови может ввести в заблуждение: как уже отмечалось, они составляют лишь 1/30 часть от общего числа. А при повторных измерениях мы очень редко измеряем те же самые клетки: при первом измерении мы можем, например, «поймать» клетки, которые только вошли в кровеносную систему и, соответственно, точно отражают длину теломер в стволовых клетках, а вот следующее измерение может быть уже искажено, если клетки в периферической крови постоянно делятся – мы можем недооценить истинную длину теломер. Оценка старения иммунной системы – или состояния здоровья – по длине теломер лейкоцитов в периферической крови, скорее всего, полезна, но результаты нужно очень тщательно интерпретировать.

Кроме собственно длины теломер, еще один ключевой вопрос в иммунном старении звучит так: как клетки на самом деле *функционируют*? Если принять, что изменения в функционировании – это результат изменения паттернов экспрессии генов, которое происходит из-за постепенного укорочения теломер, то эти самые функциональные изменения – ключ ко всему. Эти изменения проявляются в большинстве иммунных клеток, но самые очевидные из них происходят в популяции Т-клеток. Эти клетки становятся «небрежными» (т. е. сигнальная трансдукция плохо регулируется) и хуже производят критически важную клеточную продукцию (например, лимфокины). С возрастом «наивных» Т-клеток становится все меньше, и популяция Т-клеток теряет возможность быстро делиться в ответ на инфекцию и антигены. Как и в случае с многими другими системами организма, стареющая иммунная система на некоторые вещи реагирует слишком хорошо, что приводит к аутоиммунным заболеваниям, а на другие – хуже, чем нужно (раковые клетки, вирусы и т. п.). Многие клетки постоянно активируются, вызывая хроническое воспаление, а другие, в частности, натуральные киллеры и другие цитотоксичные клетки, становятся намного менее эффективны.

Кроме того, постепенное укорочение теломер в стволовых клетках приводит к более медленному обновлению гемопоэтических клеток, в том числе эритроцитов, лимфоцитов и других типов клеток. В популяции лимфоцитов клетки начинают обновляться все реже, так что все большее их число начинает функционировать хуже. Если так происходит с эритроцитами, то результатом становится постепенная анемия. Как и анемия, возникающая при хронических болезнях, возрастная анемия, пусть она и редка, случается не потому, что заканчиваются стволовые клетки, а потому, что эти клетки просто перестают размножаться с достаточной скоростью. Короче говоря, в старости может развиваться возрастная апластическая анемия из-за перебоев в работе стволовых клеток костного мозга.

Клинические результаты отражают все эти изменения. Старея, мы становимся более уязвимыми для инфекций, рака, хронических воспалений и аутоиммунных заболеваний.

Остеоартрит

Остеоартрит – это болезнь, вызываемая отказом хондроцитов. Это единственные клетки, живущие в хрящах наших суставов; они прячутся там, как маленькие семечки. Их работа – производить и поддерживать в рабочем состоянии хрящ, плотную, похожую на желатин соединительную ткань, состоящую в основном из белков, которые формируют две скользкие поверхности сустава, трущиеся друг о друга при движении. Хрящ делает движения сустава мягкими и плавными, минимизируя износ и позволяя нам совершать быстрые, эффективные движения.

Как и в нашем примере с важными белками, производимыми стареющей клеткой, белки хряща – в основном коллаген и протеогликаны – являются важнейшими продуктами хондроцитов. Эти белки относительно стабильны, но, тем не менее, все равно перерабатываются хондроцитами, которые разрушают текущую хрящевую матрицу и выделяют новую матрицу ей на смену. Короче говоря, поверхность суставов проходит постепенную, но очень важную переработку, и именно эта постепенная переработка замедляется с возрастом.

СТАРЕЮЩАЯ ИММУННАЯ СИСТЕМА: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: говоря в общем, чем старше взрослый пациент, тем хуже работает его иммунная система.

Статистика: данные найти трудно, потому что одряхление иммунной системы сложно отделить от других возрастных заболеваний. Например, если пожилая женщина спотыкается из-за плохого зрения, не удерживает равновесия из-за слабых мышц, падает и ломает шейку бедра из-за остеопороза, у нее развиваются осложнения из-за плохой периферической циркуляции, а потом заражается инфекционной болезнью и умирает, что считать причиной смерти? Примерно по той же причине убытки, приносимые одряхлением иммунной системы, трудно изолировать, хотя они, безусловно, серьезны.

Диагноз: конкретный диагноз «одряхление иммунной системы» ставится довольно редко. Вместо того, чтобы выдавать направления на необязательные лабораторные анализы, врачи обычно по умолчанию считают, что у пожилых пациентов работа иммунной системы нарушена.

Лечение: одряхление иммунной системы вылечить невозможно. Врачи-терапевты обычно советуют соблюдать диету и часто делать прививки (хотя прививки реже вызывают адекватный иммунный ответ у пожилых людей, чем у молодых).

Из-за этого замедления в зрелые годы в матрице начинают накапливаться повреждения. Сама скорость повреждений постоянна – они вызываются нормальным давлением и стрессом, вызываемым движением любого сустава, особенно тех, что поддерживают вес нашего тела, в частности, бедренного и коленного. Но хондроциты постепенно теряют способность ремонтировать эти повреждения. Когда хондроциты стареют, их теломеры укорачиваются, экспрессия генов, кодирующих важные белки, замедляется, обновление белков в хряще становится все медленнее, и хрящ начинает портиться. Из-за этого хрящ истончается и начинает рваться, а хондроциты лишаются физической защиты от сдавливания и растяжения, что приводит к быстрой их потере. К сожалению, укорочение теломер также заставляет хондроциты медленнее реагировать на потребность в замене клеток и медленнее делиться. В результате хондроциты не просто начинают медленнее заменять хрящевую матрицу: самих хондроцитов тоже становится меньше.

Как ни странно, артикулярный хрящ – и хондроциты, живущие в нем, – не имеет кровоснабжения. Питанием его обеспечивает только синовиальная жидкость. Кислород и питательные вещества диффундируют из далеких капилляров и через синовиальную жидкость и хрящи поступают в клетки; отходы жизнедеятельности клеток совершают такое же путешествие, но в обратную сторону. Активное использование суставов – повседневные движения – способствуют этой диффузии, так что оно жизненно важно и для хондроцитов, и, соответственно, для хрящей. Тем не менее, даже при оптимальных нагрузках теломеры все равно постепенно укорачиваются, и хондроциты перестают адекватно функционировать. Новые клетки могут появляться только из уже существующих хондроцитов, а не из кровеносных сосудов, что лишь ускоряет потерю теломер.

Чем больше мы требуем от наших хондроцитов – посредством сильных ударов, травм или избыточного веса, – тем быстрее клетки стареют и тем раньше и тяжелее наступает остеоартрит. Суставы рук несут на себе меньший вес, чем колени, но чаще травмируются у людей, чья профессия связана с повторяющимися движениями, особенно ударными или травматичными, как, например, в боксе. Позвонок, бедра, колени и лодыжки постоянно испытывают стресс от давления по всей поверхности сустава, и этот стресс опять-таки только ухудшается из-за постоянной ударной нагрузки – чаще от этого страдают бегуны, баскетболисты и футболисты, а также все те, чья работа связана с повторяющимся или травматическим использованием суставов, будь то работа на железной дороге или на тракторе.

В целом остеоартрит вызывается не «старением» в смысле увеличения возраста; кроме того, он развивается неодинаково, труднопредсказуем и не слишком коррелирует с другими возрастными заболеваниями. Начало и течение остеоартрита связано с укорочением теломер, но вместе с тем он является и результатом действия факторов, контролирующих укорочение теломер в пораженных клетках, – генетической предрасположенности, образа жизни, качества и количества принимаемой пищи, травм, инфекций и множества других факторов окружающей среды. Как обычно, теломеры не столько «вызывают» остеоартрит – они скорее являются единственным объединяющим фактором в огромном и сложном каскаде патологий, приводящих к этому заболеванию. Именно по этой причине теломеры – более эффективная и результативная точка клинического вмешательства, чем любой другой фактор, тоже играющий роль в развитии болезни.

ОСТЕОАРТРИТ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: болезнь обычно развивается в возрасте 40–80 лет.

Статистика: остеоартрит – самая распространенная форма артрита; она встречается намного чаще, чем ревматоидные разновидности. Примерно 14 % взрослых страдают остеоартритом, среди пожилых людей (старше 65 лет) эта цифра увеличивается до 1/3. По оценкам Центров по профилактике и контролю заболеваний США, в этой стране остеоартритом больны 27 млн человек. Среди факторов риска – большой вес, травмы суставов и любая деятельность (спорт или профессия), связанная с периодической ударной нагрузкой на сустав. У женщин риск остеоартрита выше, чем у мужчин, особенно после менопаузы. Чаще всего он развивается в суставах коленей, бедер, кистей рук, ступней и спины.

Убытки и затраты: в США на эту болезнь тратят более 185 млрд долл. США в год; 29 млрд из них – на замену коленных суставов, 14 млрд – на замену бедренных. Финансовые потери, связанные с работой, составляют от 4 до 14 млрд. Остеоартрит часто приводит к инвалидности. Издержки растут: люди живут все дольше, а ожирение встречается все чаще, из-за этого растут и частота, и тяжесть болезни.

Диагноз: симптомы – боль в суставах, нередко сопровождающаяся воспалением, – служат достаточно надежными индикаторами. Лабораторные анализы и рентгеновские снимки могут показать, что остеоартрита на самом деле нет; подтверждается диагноз обычно рентгеном (или, реже, компьютерной (КТ) или магнитно-резонансной томографией (МРТ) или артроскопией).

Лечение: При остеоартрите обычно назначают обезболивающие средства, амплитудные упражнения, а также рекомендуют избегать ударной нагрузки на сустав. Впрочем, ни один из этих подходов не смог замедлить развитие остеоартрита, как и пищевые добавки вроде глюкозамина сульфата. Лучший из существующих методов терапии, полную замену сустава, избирают лишь около 5 % пациентов. Крупные суставы (коленные и бедренные) действительно можно заменить, но вот саму болезнь этим не остановить.

Остеопороз

Остеопороз – это постепенное ослабление костей с возрастом. Большинство людей, видя название болезни, считают, что кость при ней становится более пористой; это действительно так, но настоящей клинической проблемой является не пористость как таковая, а резкое ослабление костей. Кости с остеопорозом легко ломаются. Есть немало правдивых историй о пожилых пациентах, которые, например, ломали поясничные позвонки, когда слишком резко садились, или ребра после сильного приступа кашля. У здорового молодого человека бедро может сломаться разве что в результате тяжелой травмы, например, полученной в автомобильной аварии, а вот пожилой человек с остеопорозом может получить подобный перелом, просто упав с высоты собственного роста на покрытый ковром пол. Очень немногие пациенты реально умирают от остеопороза, но многие страдают от неожиданных и болезненных переломов; немало пожилых людей умирает от осложнений после подобных переломов – пневмонии, тромбов, заражения крови и т. д.

Остеопороз – это самая распространенная болезнь костей, и, как и многие другие возрастные заболевания, развивался бы абсолютно у всех пожилых людей, если бы они раньше не умирали от других «болезней старости». Большинство неверно полагает, что остеопороз вызывается недостатком кальция. На самом деле можно скорее сказать, что кальция в организме вполне достаточно, только вот совсем не в тех местах. В организме пожилого человека, например, мало кальция в костях, но зато слишком много кальция в виде отложений в коронарных артериях. Точнее будет сказать, что остеопороз вызывается отсутствием каркасных белков – матрицы, которая связывает кальций и другие минеральные компоненты здоровой кости, в частности, фосфор. Это наблюдение – результат клинических экспериментов, показавших, что повышение содержания кальция в диете и другие упрощенные диетологические подходы практически никак не влияют на развитие болезни.

Дело не в том, сколько у вас кальция, а в том, как он распределен по организму.

Да, пациентам с его недостатком в рационе будет полезно есть больше продуктов с кальцием – это может отсрочить наступление остеопороза, но после развития клинического остеопороза повышение содержания кальция в диете уже не приносит практически никакой клинической пользы.

Естественно, проблема не в поступлении кальция в организм. Все дело в сложном взаимодействии кальция, витаминов и гормонов. У людей с врожденным недостатком витамина D, например, кости тоже плохо растут и ремонтируются, но это не является ни остеопорозом, ни его причиной. Остеопороз – это не дефицит кальция, и его нельзя вылечить только приемом минеральных добавок. С другой стороны, женщины, рожавшие несколько раз – и постоянно терявшие кальций, чтобы обеспечить рост костей у детей, – рискуют сильнее; женщины вообще сильнее, чем мужчины, подвержены остеопорозу, особенно после менопаузы, когда уровень эстрогена падает. Тем не менее, ни одна из этих проблем не является причиной остеопороза, и никакие простые диетические рекомендации или дополнительный прием эстрогенов и витаминов не замедляют и не останавливают развитие болезни.

Остеопороз – это не просто пассивное событие, происходящее в старости; это – болезнь. Из-за остеопороза увеличивается риск перелома, причем если бы мы жили достаточно долго, то этот риск достиг бы ста процентов.

В обновлении костей – и, следовательно, в остеопорозе – участвуют не менее двух типов костных клеток: остеобласты, которые строят кости, и остеокласты, разрушающие их. Возникает вполне оправданный вопрос: почему организм не может просто один раз постро-

ить хорошие кости и так их и оставить? Здесь есть два ответа. Первый – такой же, с помощью которого мы объясняли обновление молекул в клетках: организм занимается постоянной переработкой, чтобы гарантировать, что молекулы – или, в данном случае, кости – не накопили слишком много повреждений. Этот процесс чем-то напоминает регулярный ремонт большого дома – что-то приходится постоянно менять, ремонтировать, подкрашивать, но благодаря этому даже старый дом можно бесконечно поддерживать в хорошем, прочном состоянии. Второй ответ еще проще: достаточно спросить, что происходит при переломе кости. Организм заново моделирует ее и залечивает перелом. Для этого нужно избавиться от поврежденных тканей и нарастить на их месте новые. На самом деле, скорее всего, микропереломы у нас случаются постоянно, даже во время простейшей повседневной деятельности, но процесс постоянного обновления исправляет эти микротрещины в костной матрице точно так же, как и тяжелые переломы и другие повреждения.

Обновление костной матрицы замедляется с возрастом, как и обновление молекул в модельной клетке, которую я описывал ранее. Результат точно такой же: чем медленнее процесс обновления, тем выше процент накопленных повреждений и тем больше вероятность катастрофического отказа. Если говорить об остеопорозе, то чем медленнее обновление, тем больше процент ослабленных костей и тем выше вероятность получить перелом. Более того, в стареющих костях появляется и еще одна проблема: растущий дисбаланс между разрушением костей (остеокластами) и их ростом (остеобластами).

Саму кость можно представить в виде гибкой и сложной паутины веревочек, которую организм сверху покрывает твердым, негибким слоем «цемента». Веревочки – это белковая матрица, которая делает кости сильными, а цемент – кальций и фосфор, которые делают кости твердыми и прочными. На первом этапе лечения (а также в растущем плоде) кости принимают «плетеную» форму – она слабая и податливая, но зато может быстро расти. После того, как лечение завершится («замена костной ткани»), кость принимает «пластинчатую» форму – она сильнее, прочнее и долговечнее. В первоначальной «плетеной» форме коллагеновых волокон мало, и они кажутся случайно и беспорядочно набросанными. В пластинчатой форме коллагеновых волокон намного больше, и они лежат параллельно листами; каждый набор волокон располагается под прямым углом к предыдущему. Эта конструкция напоминает фанеру и обладает похожими преимуществами: огромной прочностью и сопротивляемостью к повреждениям.

Такой же процесс происходит и во время так называемого ремоделирования, которое запускается во время роста, а также после физических нагрузок и изменения структуры стресса – например, когда спортсмен начинает заниматься новым видом спорта, его кости соответствующим образом реагируют. Однако ремоделирование костей – это еще и безостановочный процесс; он продолжается, даже когда рост уже завершен, а физическая активность не меняется. Отчасти это реакция на микротрещины, возникающие в результате повседневной деятельности, но этот процесс происходит и в отсутствие всяких повреждений. Кость постоянно проходит через процесс динамического ремоделирования, ресорбции и нового роста, даже если сохраняет при этом свою форму и функции.

У молодых людей постоянное обновление костей – разрушение и перестройка – работает практически идеально. Процесс поддерживает оптимальную силу и размер костей, давая к тому же остальному организму легкодоступный запас кальция и фосфора. У среднего взрослого ремоделированию – разрушению и выращиванию заново – подвергается около 10 % костей, но с возрастом скорость ремоделирования падает, а скорость обновления снижается быстрее, чем скорость разрушения. Этим объясняется и постепенная потеря костной массы, и то, что у пожилых людей переломы заживают медленнее.

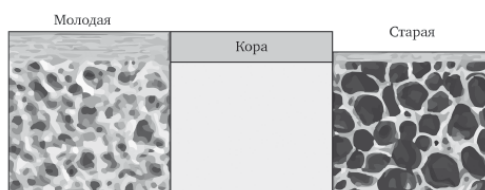
Обновление костей обеспечивается несколькими веществами – гормоном роста, гормоном щитовидной железы, эстрогенами и андрогенами, – но нет никаких доказательств того, что остеопороз является результатом возрастного уменьшения уровня гормонов.

Эти и другие гормоны увеличивают выделение остеобластами цитокинов, которые повышают резорбцию костей, стимулируя работу остеокластов и выделение новых остеоцитов из стволовых клеток. Остеокласты увеличивают резорбцию, когда их стимулируют паратиреоидный гормон и витамин D, а также, косвенно – рост количества некоторых цитокинов (RANKL и интерлейкина-6). Резорбция костей остеокластами замедляется остеопроTEGERИНОМ и кальцитонином. Стоит отметить, что некоторые гормональные эффекты увеличивают или уменьшают общую скорость обновления костей, а другие гормоны стимулируют или ингибируют только один из двух компонентов обновления костей – либо остеобласты, либо остеокласты.

КЛИНИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В КОСТЯХ

В костях с остеопорозом мы наблюдаем три изменения, причем все они приводят к плохому качеству костей и уменьшению их силы.

1. Кора кости (толстый внешний слой) становится тоньше.
2. Кора кости, к тому же, становится более пористой.
3. Мозговая (внутренняя) часть кости становится более пористой и хуже связанной; трабекулярная матрица постепенно разрушается.



Кости меняются с возрастом: остеопороз.

Жизненный цикл роста и разрушения кости зависит от пола, расы, рациона питания, физических нагрузок, болезней, курения, применения стероидов и генетической предрасположенности, но в целом шаблон один для всех: в детстве кости растут, у взрослых костная масса поддерживается на одном уровне, а у пожилых костная масса постепенно уменьшается (это мы и называем остеопорозом). В целом, однако, потеря костной массы вызвана не гормональными изменениями, а изменениями, вызванными самим процессом старения на клеточном уровне. Костная масса начинает идти на спад – а остеокласты преобладать над остеобластами – еще до уменьшения уровня половых гормонов (эстрогена и тестостерона) и сопровождается замедлением обновления костей в целом. У женщин после наступления менопаузы и то, и другое изменение становятся намного заметнее; у мужчин костная масса и скорость обновления костей уменьшаются постепенно, учитывая более линейную природу «андропаузы».

Потеря костной массы – остеопороз – это не просто пассивное событие, происходящее в старости; это – болезнь. Из-за остеопороза с возрастом постепенно увеличивается риск перелома, причем если бы мы жили достаточно долго, то этот риск достиг бы ста процентов, а наши кости оказались бы полностью разрушены.

ОСТЕОПОРОЗ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: обычно начинается после 40 лет или после менопаузы у женщин. Остеопорозом болеют примерно 50 % людей старше 50 лет, а у

людей старше 75 он распространен повсеместно [чаще, впрочем, у женщин). Спонтанные и травматичные переломы с возрастом становятся все более частыми, а у многих пожилых людей, когда отказывают верхние позвонки, появляется «вдовый горб».

Убытки и затраты: в США эта болезнь, по некоторым оценкам, приводит к убыткам в 22 млрд долл. США (в это число входит и цена на замену суставов; впрочем, затраты на эту процедуру трудно отделить от затрат при остеоартрите). И в США, и по всему миру убытки от этой болезни лишь растут, потому что люди живут дольше.

Диагноз: у большинства пациентов остеопороз диагностируется после неожиданного перелома – обычно позвонка, кисти или бедра. Часто риск остеопороза можно оценить просто на основе медицинской карты и известных факторов риска. Диагноз можно подтвердить с помощью стандартного рентгена или измерения плотности костей при остеосцинтиграфии. Обычно болезнь диагностируется, когда плотность костей на несколько (часто – 2,5) стандартных отклонений меньше нормы.

Лечение: риск остеопороза (и вызываемых им переломов) можно снизить, ведя активный образ жизни, хорошо питаясь, избегая стероидов и табака и принимая бисфосфонаты, но все эти меры могут лишь замедлить его развитие. Не существует никаких современных методов лечения, которые могут обратить вспять или хотя бы остановить развитие остеопороза, хотя лечение клеточного старения на генетическом уровне выглядит многообещающе.

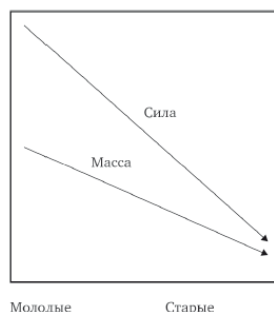
Старение мышц

Мышцы с возрастом теряют и массу, и силу – это утверждение одновременно верно и невероятно упрощено. Старение мышц – это очень сложный процесс, в котором участвуют и мышечная ткань, и другие системы.

Например, поступление стареющей крови к мышцам – и результирующее старение мышц – может вызвать неожиданную патологию и в других системах. Даже если бы мышцы не старели независимо от прочих факторов (а они стареют), они бы с возрастом все равно постепенно отказывали – вместе с отказом кровообращения, эндокринной системы, нервной системы, суставов и мышц. Мы уже обсудили остеоартрит и остеопороз, которые влияют и на механику нашей мускулатуры, но самый заметный эффект на старение мышц оказывается стареющей сосудистой системой: из-за этого доступность кислорода, глюкозы и других питательных веществ, необходимых для мышечной деятельности, становится все менее надежной, а удаление углекислого газа и других отходов замедляется. Сравнительная денервация мышц тоже может сыграть свою роль: периферическая нервная система «отрезает» некоторые эфферентные связи (эфферентные нервы передают импульсы *от* мозга), из-за чего наши движения становятся менее точными и координированными.

Старение мышц приводит к ухудшению работы и других систем. Когда мышцы стареют, они используют меньше энергии; уменьшение расходов энергии приводит к образованию лишнего жира (особенно на животе), что, в свою очередь, повышает резистентность к инсулину и риск развития диабета второго типа, а также гипертонии и сердечно-сосудистых заболеваний. Кроме того, мышцы – это еще и «склад», в котором хранятся белки для всего организма. Когда с возрастом мышечная масса уменьшается, эти белки становятся менее доступными и не могут эффективно удовлетворять потребности иммунной системы (в ферментах и антителах), печени и других систем органов; уменьшение мышечной массы является предсказательным фактором для смертности среди пожилых людей.

Кроме того, процесс старения самих мышц тоже довольно сложен. Самый очевидный эффект – простая потеря мышечной массы из-за слишком медленной замены поврежденных волокон и уменьшения оставшихся волокон. Точно так же, как и в других системах, у молодых людей волокна заменяются так же быстро, как и погибают, а вот с возрастом скорость замены уже недостаточна. Кроме того, на замену часто начинает вырастать жир или жесткая, волокнистая ткань, а не собственно мышцы. Результат – уменьшение размера и силы мышц, несмотря на то, что мышечная *масса* остается прежней.



Когда мы стареем, мышечная масса и сила уменьшаются, но сила уменьшается быстрее.

Эти изменения хотя бы можно заметить на медосмотре или сдаче физических нормативов, но в стареющих мышцах случаются и малозаметные изменения, которые, однако, лежат в основе более заметных проблем. Уменьшается не только количество мышц, но и их качество, это заметно по уменьшению синтеза белков и окислительной способности.

Синтез белков с возрастом уменьшается почти во всех клетках, хотя изменения скорости синтеза различаются для разных белков. Последствия у этого – как мы уже подчеркивали в предыдущих главах – бывают самые разнообразные и часто неожиданные. Самое очевидное последствие – замедление ремонта. Менее очевидно постепенное снижение качества доступных белков, что приводит к дисфункции клеток, а это, в свою очередь, вызывает потерю силы и уменьшение окислительной способности.

В целом метаболизм в стареющих мышцах идет на спад, и особенно это заметно по митохондриальной функции. Митохондрий (они – ключ к выработке клеточной энергии) становится меньше, да и работают они менее эффективно. Общий спад доступной энергии – особенно АТФ (аденозинтрифосфорная кислота: аденин, связанный с тремя фосфатными группами) – молекула, которая служит источником энергии для всех процессов в организме, в том числе для движения – вызывается замедлением обновления белков внутри митохондрий, потому что большинство митохондриальных протеинов зависят от экспрессии генов в ядре, а она с возрастом замедляется. Постепенно митохондрии все больше и больше утрачивают способность производить энергию для мышц. Вместе с этим в митохондриях наступает спад потребления кислорода и активности ферментов, отвечающих за окисление. Это предсказуемо: когда скорость обновления белков снижается, поврежденных белков среди доступных становится все больше и больше. Из-за уменьшения количества АТФ старые мышцы менее выносливы и сильны, но здесь может проявляться и еще один эффект: энергии на производство белков в мышцах тоже мало, а это замедляет обновление белков и ремонт клеток еще больше.

Заметнее всего уменьшается скорость обновления у сравнительно редких белков, играющих важнейшую роль в энергетическом метаболизме, но даже у более стабильных белков скорость обновления немного уменьшается, а это тоже приводит к потере силы. Миозин, ключевой белок, участвующий в движении мышц, обновляется медленно, но в стареющих мышцах он начинает обновляться еще медленнее, приводя к тому же результату: количество неработающих белков растет, а качество мышц снижается. И в молодых, и в старых мышцах скорость обновления зависит от нагрузок, особенно аэробных. Силовые тренировки увеличивают мышечную массу, но аэробные упражнения улучшают скорость обновления белков и, соответственно, качество, а не количество мускулов. В любом случае с возрастом эта польза уменьшается: от любого количества упражнений (аэробных или других) молодые мышцы обычно получают больше пользы, чем старые. И даже при сохранении стабильного уровня нагрузок мышечная масса и сила все равно уменьшаются с возрастом.

Многие верят, что старение мышц можно по большей части предотвратить или обратить вспять с помощью физических упражнений. Это верно лишь отчасти. Человек среднего или пожилого возраста, ведущий преимущественно сидячий образ жизни, действительно может увеличить мышечную массу и силу с помощью тренировок, но с возрастом это становится все тяжелее, да и пользы они приносят все меньше. Проще говоря, хоть какая-то польза от тренировок есть, но они не могут замедлить старение.

Без физических нагрузок мышцы с возрастом теряют больше массы и силы, *но нагрузки сами по себе не предотвращают и не обращают вспять старение мышц*. Иными словами, тренировки, конечно, никак не изменяют процесса мышечного старения, но они помогают пожилым пациентам почувствовать себя лучше.

Но, возможно, не всем. Довольно большой процент пожилых людей вообще не может нарастить мышцы – судя по всему, из-за возрастных изменений, – и этот процент с возрастом

лишь растет. Как ни странно, это, судя по всему, обусловлено интересным свойством мышц: они вырастают из особого подмножества стволовых клеток – миоцитов. Когда-то общепринятым было мнение, что мышечные клетки, как и нервные, после рождения не делятся. Затем мы обнаружили, что есть и исключения: в некоторых случаях мышечные клетки и нейроны делятся и у взрослых. Но оставался вопрос: насколько важно это деление клеток в практическом плане? Вам наверняка это покажется чисто исследовательским вопросом, но, как оказалось, у него есть важное клиническое применение. Укорочение теломер – и, соответственно, клеточное старение – происходит практически исключительно в клетках, которые делятся, так что очевидный вопрос состоит в том, стареют ли мышцы «по-настоящему». Или, если точнее, укорачиваются ли их теломеры, когда мы стареем?

Существующие мышечные клетки, миоциты, первоначально появляются из миобластов (мышечных стволовых клеток) или миосателлитов (мышечных стволовых клеток, встречающихся в мышечной ткани взрослых), так что мышечные клетки пожилых людей определенно делились и, соответственно, их теломеры укорочены. На самом деле есть определенные свидетельства того, что по телу циркулируют плюрипотентные (общего действия) стволовые клетки, которые могут дифференцироваться не только в мышечные стволовые клетки, но и в совершенно нормальные и функциональные мышечные клетки, в том числе в мышечные клетки сердца (кардиомиоциты).

СТАРЕНИЕ МЫШЦ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: потеря мышечной массы часто начинается еще в раннем взрослом возрасте, скорее всего – из-за уменьшения физической активности, и становится наиболее выраженной у женщин после менопаузы. Даже у самых здоровых людей к 40 годам (или даже раньше) наблюдается уменьшение и мышечной массы, и количества волокон. Этот процесс прогрессирует постепенно, без очевидных точек перегиба, заметных у других возрастных заболеваний, например, переломов, сердечных приступов и т. д.

Статистика: цифры убытков и другие данные получить сложно, потому что они в основном вызваны прогрессирующей слабостью, которая становится причиной других медицинских проблем: падений, переломов, замен суставов, вторичных инфекций. Кроме того, потеря мышечной массы, вероятно, приводит к росту вероятности заболеть диабетом и некоторыми другими болезнями.

Диагноз: заметнее всего старение мышц в руках, которые начинают выглядеть тонкими и костлявыми.

Лечение: чаще всего рекомендация звучит примерно как «Пользуйся мышцами, а не то потеряешь их», хотя потенциальная польза от физических нагрузок сильно зависит от индивидуальных особенностей человека; с возрастом терять мышечную массу из-за недостаточной активности все легче, а набирать с помощью тренировок – все тяжелее. Другой эффективной терапии не существует.

Так что постепенная потеря качества и количества мышц – как скелетных, так и сердечных, – происходящая в пожилом возрасте, отражает постепенную потерю способности организма обновлять мышцы, используя стволовые клетки из нескольких источников. Старение мышц происходит из-за тех же процессов, что происходят во многих других системах – костях, суставах, коже и т. д., – когда теломеры укорачиваются и вызывают постепенную и на данный момент неизлечимую потерю функциональности.

Старение кожи

Есть распространенное (и не совсем верное) мнение, что старение кожи – это чисто косметическое явление. У этого мнения два источника. Во-первых, мы видим, как родственники и знакомые умирают от инфарктов, инсультов, рака или болезни Альцгеймера, но вот о смертях от «старой кожи» ничего не знаем. Во-вторых, нас бомбардируют рекламой разнообразных кремов, лосьонов, лекарств и видов терапии, которые якобы «сотрут морщины», «сделают вашу кожу снова молодой» или «борются и с видимыми, и с будущими симптомами старения». Люди тратят на эту продукцию миллиарды долларов. У некоторых средств, например, ботокса, действительно есть заметный косметический эффект, но вот рекламные обещания множества популярных продуктов не подкрепляются никакими реальными данными, что не мешает им продаваться по баснословным ценам. Даже когда продукты, направленные «против старения» кожи, действительно работают так, как обещали в рекламе (ботокс), результат они дают чисто косметический, а нас интересуют медицинские аспекты старения кожи.

Во-первых, вы, наверное, удивитесь, но люди действительно иногда умирают от «старой кожи». Очень сильно постаревшая кожа уже не является надежным барьером для инфекций, так что пациенты умирают от инфекционных поражений кожи. От болезней, проникающих через кожный барьер, конечно, умирают и молодые люди, но с возрастом эта причина смерти встречается все чаще: кожа не только становится менее надежным физическим барьером, она еще и лишается поддержки – нормального кровоснабжения и эффективного иммунного ответа.

Впрочем, чаще стареющая кожа становится все-таки не прямой причиной смерти, а делает важный косвенный вклад – по нескольким причинам. Старая кожа не является ни эффективным физическим барьером, ни тепловым изолятором, так что организму приходится тратить больше энергии, чтобы поддерживать нормальную температуру. Способность кожи залечивать травмы, чувствовать травмы и реагировать с помощью иммунитета уменьшается. Эти и другие перемены в стареющей коже приводят к резкому росту нагрузки на оставшийся организм, подвергая стрессу другие системы, которые тоже стареют и теряют компетентность.

Кожа состоит из двух фундаментальных типов клеток: фиброцитов и кератиноцитов. В нормальной коже на самом деле встречаются десятки других типов клеток, в том числе те, из которых состоят специализированные структуры вроде волосяных фолликулов и сальных желез. Есть клетки, которые приходят в кожу извне, например, из кровеносных сосудов или нервов, и так называемые путешествующие, или «блуждающие», клетки, приходящие по кровеносной системе.

Из кератиноцитов состоит внешний слой кожи – эпидермис; они постоянно делятся, восполняют потери и отшелушиваются во время нашей повседневной жизни. Таким образом, их теломеры постоянно укорачиваются, и из-за этого с возрастом эпидермис меняется.

Внутренний слой – дерма – более сложен. Он состоит как из фиксированных клеток – например, фибробластов, – так и из блуждающих: макрофагов, моноцитов, лимфоцитов, плазмменных клеток, эозинофилов и тучных клеток, обычно исполняющих иммунные функции. Фиброцит – это ключевая фиксированная клетка в дерме. Эти клетки делятся, формируя фибробласты и жировые клетки. Фибробласты создают и поддерживают внеклеточный матрикс из коллагеновых и эластиновых волокон, связывающих весь слой воедино. Жировые клетки – адипоциты – чаще встречаются в молодой коже; они защищают тело, служа одновременно физической «подушкой» и термоизолятором. И фибробласты, и адипоциты вырастают в результате деления фиброцитов. Когда эти клетки погибают, фиброциты делятся и

заменяют их новыми фибробластами и адипоцитами, но постепенно теряют длину теломер, и в кожной ткани начинаются возрастные изменения.

Когда мы стареем, клетки кожи и в дерме, и в эпидермисе меняют свои паттерны экспрессии генов: медленно делятся, теряют численность и способность выполнять отведенные роли. Фибробласты, например, медленнее заменяют внеклеточный матрикс из коллагеновых и эластиновых волокон и все чаще производят дефективные волокна. В результате стареющая кожа теряет и прочность (коллаген), и эластичность (эластин). Адипоцитов становится меньше, так что мы теряем кожный жир, а кератиноциты делятся медленнее и уже полностью компенсируют гибель клеток – из-за чего клеточная популяция эпидермиса сокращается все больше и больше.

Эти возрастные изменения очевидны и визуально, и на ощупь. Старая кожа медленнее заживает, потому что клетки делятся уже не так быстро. Она легко рвется, потому что коллагеновые волокна уже не так прочны, как в молодой коже. Когда мы оттягиваем кожу, эластиновые волокна уже не могут быстро подтянуть ее обратно (или не могут подтянуть вообще), и она начинает висеть мешком. После потери жировых клеток в дерме кожа, лишившись смягчающей «подушки», чаще травмируется, даже от малейших ударов и царапин, и на ней чаще возникают гематомы. Из-за потери жира тело быстрее теряет тепло, так что мы легко мерзнем, а это подвергает стрессу наш обмен веществ – ему требуется больше калорий, чтобы поддерживать нормальную температуру тела.

Впрочем, одно из самых распространенных изменений происходит не в эпидермисе и не в дерме, а на границе между двумя слоями. В молодой коже дермо-эпидермальное соединение является интердигитационным: два слоя соединены, как переплетенные пальцы, и благодаря этой сильной механической связи эпидермис практически невозможно оторвать от дермы. Молодая кожа прочна. В стареющей, однако, интердигитация постепенно теряется, и соединение становится уже не переплетенным, а практически плоским, а в местах, где слои вообще не соприкасаются, возникают кармашки с жидкостью (микробуллы). В результате у пожилых людей кожа отшелушивается даже при самом легком трении. Если старик, например, споткнется и упадет, то, задев в падении рукой стул, сдерет себе большой кусок кожи, непрочной, как салфетка. Старая кожа очень нежная, легко рвется, а шить ее обратно практически невозможно.

Стареющая кожа становится тонкой, слабой, и накапливает все больше повреждений, особенно там, где постоянно освещается солнцем.

Мы видим морщины и возрастные пигментные пятна: кожа теряет контроль над пигментными клетками, и на ней появляются темные участки с неровными краями. Причина морщин и «сухости кожи» – не потеря влажности, а потеря кожных клеток и повреждение внеклеточного матрикса. Когда клетки кожи перестают восстанавливать повреждения, в областях частых микротравм, где мышцы постоянно натягивают кожу – например, на лице, в областях, используемых для мимики, – становятся заметны постоянные изменения, видные нам как морщины. Такой же эффект, но менее заметный, наблюдается и на всей остальной коже, например, на тыльной стороне ладони и предплечье: когда кожа теряет эластичность и популяцию клеток, на ней возникают тысячи маленьких параллельных морщинок.

СТАРЕНИЕ КОЖИ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: старение кожи – нарастающий, длящийся всю жизнь процесс, у которого нет конкретного «возраста наступления». Скорость старения кожи у разных людей разная, но одна из главных причин, кроме собственно возраста, – внешние воздействия, особенно ультрафиолетового излучения, которое ускоряет укорочение теломер и старение кожи.

Убытки и затраты: основные медицинские расходы связаны с увеличением числа травм, инфекций и метаболического стресса, а также

пролежней (у тех, кто прикован к постели), но очень трудно сказать, какая их часть вызвана именно старением кожи. С другой стороны, американцы тратят не менее 20 млрд долл. США в год на косметику, лекарства (вроде ботокса) и пластические операции, надеясь, что их кожа станет выглядеть моложе.

Диагноз: нам не нужен врач, чтобы понять, что наша кожа начала стареть. Кожа – первое, на что мы смотрим, оценивая примерный возраст человека. Медики обычно оценивают степень старения кожи, измеряя ее эластичность (что является хорошим индикатором и старения в целом), но степень можно оценить и при помощи биопсии. Кроме того, старение кожи может привести к образованию рубцов – особенно у лежачих больных; их обычно оценивают по глубине, размерам и проникновению в более глубокие структуры, а также наличие активной инфекции.

Лечение: все процедуры и продукты, использующиеся для борьбы со старением кожи, в лучшем случае приносят только косметический эффект – есть, возможно, лишь пара исключений. Первое исключение – средства, содержащие ретиноевую кислоту, которая увеличивает скорость обновления клеток (и, возможно, увеличивает при этом и скорость укорочения теломер). Второе – ТА-65 (о нем мы говорили в четвертой главе), единственное из всех средств, обещающих замедлить укорочение теломер.

Гормональное старение

Ловенштейн! При этом имени мне вспомнилось коротенькое газетное сообщение о каком-то безвестном ученом, который ставит загадочные опыты с целью постичь тайну омолаживания и изготовить эликсир жизни...

– Я напишу этому человеку, что он совершает уголовное преступление, распространяя свое зелье, и нам больше не о чем будет тревожиться.

Артур Конан Дойл «Человек на четвереньках»

История знает множество заявлений о том, что тот или иной гормон может обратить старение вспять. Большинство из этих заявлений, особенно ранних, базировалось на половых гормонах, обычно – полученных из гонад самцов животных. В рассказе сэра Артура Конан Дойла «Человек на четвереньках» профессор использовал экстракт из мар-тышки-гульмана, чтобы вернуть себе молодость и сексуальную силу. Вымышленная история Дойла основана на работе французского хирурга российского происхождения Сергея Абрамовича Воронова, век назад ставшего печально знаменитым из-за своих операций по пересадке пациентам обезьяньих яичек – после того, как использование одних только гормональных экстрактов не дало результата. Воронов даже опубликовал книгу об этих работах; «Омоложение путем пересаживания» давно уже не переиздается, а вот истории Дойла о Шерлоке Холмсе по-прежнему живут – и, несомненно, гораздо интереснее читаются.

Воронов был не последним, кто занимался подобными глупостями. Сейчас вместо обезьяньих желез нам говорят о пользе гормона роста, мелатонина и андрогенов, и публика остается все такой же доверчивой, несмотря на отсутствие данных, показывающих какой-либо реальный эффект в борьбе со старением.

В течение многих лет эндокринная система считалась причиной старения, а гормонозаместительную терапию называли «лекарством» от него. Однако нет никаких доказательств того, что гормоны вызывают старение, не говоря уж о том, что гормоны могут от него «вылечить» или хоть как-то на него повлиять. Несомненно, гормоны в нужной ситуации и в правильных дозах приносят пользу, но вот в ненужных ситуациях и в неправильных дозах вызывают болезни или даже смерть. Возможно, самый распространенный эндокринный подход – хотя его до сих пор оспаривают, и у него есть очевидные риски, – это гормонозаместительная терапия (ГЗТ). Обычно считается, что ГЗТ – это только прием эстрогена и прогестерона женщинами после менопаузы. Истоки этой терапии лежат примерно в середине двадцатого столетия, когда мы научились производить гормональные фармацевтические препараты; к концу века в Соединенных Штатах терапия стала применяться повсеместно. Многие пациенты считали, что ГЗТ замедляет старение и развитие возрастных заболеваний, хотя данные преимущественно говорят о том, что это иллюзия. Хуже того, некоторые испытания показывают, что применение

ГЗТ повышает у женщин риск болезни Альцгеймера, рака груди²⁹, инсульта³⁰ и болезни сердца, хотя это может зависеть от того, когда именно ГЗТ начата³¹.

Использование других гормонов, особенно гормона роста, для борьбы со старением началось после середины XX века, затем ускорилось в 80-х и 90-х, когда они вышли на коммерческий рынок. Мелатонин широко разрекламировали как «источник молодости»,

²⁹ ⁷ <http://www.breastcancer.org/risk/factors/hrt>

³⁰ <http://ontinetlibrary.wiley.com/enhanced/doi/10.1002/14651858.CD002229.pub4>

³¹ http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-09662-9_18

несмотря на полное отсутствие данных, подтверждающих подобный эффект, не говоря уж о том, что уровень мелатонина в организме с возрастом, вероятнее всего, никак не меняется. Сейчас же ГЗТ превратились в источник молодости в глазах таких же доверчивых людей, как те, что век назад пересаживали себе обезьяньи железы. Несмотря на доверие публики и очень доходный коммерческий рынок «гормонов антистарения», нет никаких доказательств, что какие-либо гормоны вообще влияют на сам процесс старения. Более того, нет никаких логичных аргументов в пользу того, что гормоны *должны* влиять на этот процесс. Как мы уже обсуждали в третьей главе, если бы старением управляла какая-либо эндокринная железа, то возник бы неизбежный вопрос: а что управляет старением самой эндокринной железы? Странные капризы публичной моды, основанной практически полностью на выдавании желаемого за действительное, случались в прошлом, случаются сейчас и будут случаться в будущем, несмотря на отсутствие каких-либо доказательств или даже рациональных предположений.

С другой стороны, пусть эндокринная система и не управляет старением, уровень многих гормонов в нашем организме действительно меняется с возрастом. Некоторые гормоны медленно уменьшаются (например, тестостерон), некоторые уменьшаются внезапно (например, эстроген во время менопаузы), многие начинают все беспорядочнее реагировать на физиологические стимулы (например, эпинефрин, гормоны щитовидной железы и некоторые другие). Большинство сторонников гормонозамещения знают, что уровень многих гормонов снижается с возрастом, но очень немногие знают о более важном факторе: постепенной потере физиологического контроля над гормональными реакциями с возрастом. Дисфункции возникают в первую очередь не из-за того, что в нашей кровеносной системе стало меньше гормонов, а из-за того, что эти гормоны не реагируют так быстро и точно, как должны.

Более того, сторонники полной ГЗТ практически не замечают многих важнейших возрастных проблем эндокринной системы. Например, проблемы с инсулинорезистентностью возникают в клетках, а не в кровеносной системе. Очень распространенная проблема диабета второго типа (признак старения у многих пациентов) связана с изменением уровня инсулина (и неспособностью организма быстро и точно изменять уровень инсулина при перепадах сахара в крови). Но по большей части эта проблема вызывается неспособностью стареющих клеток быстро реагировать на изменения уровня инсулина. Похожие трудности возникают и у других эндокринных систем: самая большая проблема – не в изменении уровня гормонов в крови, а в изменившейся (дефективной) клеточной реакции на этот уровень. Эти более сложные изменения, скорее всего, играют важную роль во многих других возрастных метаболических дисфункциях – «метаболическом синдроме», гиперхолестеринемии, повышенном уровне липопротеинов низкой плотности, реакциях на кальцитонин³² и изменениях, вызывающих многие случаи ожирения.

Наконец, многие считают, что если уровень какого-либо гормона уменьшается с возрастом, то, повысив его до «молодого» уровня, вы, очевидно, станете более здоровыми. Это предположение настолько распространено, что сторонники ГЗТ практически никогда не ставят его под сомнение; единственный вопрос – сколько именно гормонов вы должны принимать, чтобы «вернуться на нормальный уровень». Подобные рассуждения могут быть верны, если гормональные изменения являются *причиной* болезни – например, при недостаточности гормона роста, когда у младенца не производится достаточно гормона роста для нормального развития, – но нет никаких причин совершать такие же прыжки веры, когда гормональные изменения являются вторичным эффектом, а не причиной. Вот простой пример – диабет первого типа. Потеря способности производить инсулин – причина болезни, и,

³² <http://ontinetlibrary.wiley.com/enhanced/doi/10.1002/14651858.CD002229.pub4>

подняв уровень инсулина в крови *надлежащим образом*, можно спасти человека от смерти вследствие гипергликемии (хотя это не всегда предотвращает долгосрочные проблемы со здоровьем). Уровень инсулина у человека с острым диабетом хронически низкий и требует замещения. С другой стороны, при голодании уровень инсулина тоже уменьшается, но, получив дозу инсулина, голодающий может умереть. Во втором случае низкий уровень инсулина – это не основная проблема, а лишь побочный эффект от низкого содержания глюкозы в крови из-за голодания.

Примерно такой же аргумент можно привести и в отношении многих других возрастных изменений. Сторонники ГЗТ обычно утверждают, что если у вас с возрастом падает уровень тестостерона или эстрогена, то его увеличение будет полезно. Но если подобные возрастные изменения – лишь вторичный эффект, то никакого улучшения не будет. А если они защищают организм, то могут начаться значительные проблемы со здоровьем. Проблема ГЗТ – не в том, что в некоторых случаях она не действует, а в том, что она основана на слабом предположении, что низкий уровень гормонов – это всегда плохо.

ГОРМОНАЛЬНОЕ СТАРЕНИЕ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: единственные несомненно возрастные изменения, происходящие с уровнем гормонов, – «точка перегиба» после менопаузы и более плавный и медленный спад андрогенных гормонов. У большинства людей уменьшается уровень гормона роста, хотя пока неясно, с чем это связано: с возрастом, отсутствием физической активности, изменением графика сна, режимом питания или болезнями. **Убытки и затраты:** по различным оценкам, оборот на мировом рынке гормональных антивозрастных терапий приближается к 3 млрд долл. США в год.

Диагноз: точный диагноз «гормональная недостаточность» можно поставить на основе лабораторных анализов, хотя в некоторых случаях для этого требуется специальная подготовка или постоянная проверка.

Лечение: если уровень какого-либо гормона ниже, чем нормальный в данном возрасте, обычно предлагается ГЗТ, но согласия по поводу полезности подобных видов терапии не наблюдается; напротив, все больше медиков соглашается, что риски обычно перевешивают возможную пользу.
Caveat emptor.

Оценивая потенциальную пользу от ГЗТ, нужно смотреть на данные, а не руководствоваться бездумными предположениями. Как уже говорилось ранее, нынешние данные говорят, что, подняв уровень эстрогена до «нормального», каким он был до менопаузы, мы значительно увеличиваем риск болезни Альцгеймера и других возрастных заболеваний. «Нормальность» нужно определять в соответствии с возрастом и результатами. Уровень эстрогена, который вызывает болезни и повышает смертность, не может считаться «нормальным». Гормоны могут принести пользу, но ГЗТ сама по себе никак не влияет на старение.

Отдельные системы и особые случаи

Старение легких

Чем старше мы становимся, тем труднее нам становится дышать. Многие пожилые люди даже не замечают особых изменений в своем дыхании, потому что в покое или при повседневной деятельности мы пользуемся лишь малой частью дыхательных способностей. Но вот когда мы даем себе нагрузку, проявляются все скрытые проблемы с легкими, которые у нас могут быть. Старость сначала сказывается на объеме остаточного воздуха в легких и только потом уже начинает влиять на дыхание в обычной жизни.

Наши легкие медленно и постепенно стареют – вне зависимости от курения, травм, инфекций и прочих факторов. В молодости одышка у нас возникает только после очень сильных или долгих нагрузок. С возрастом – после все более малых объемов нагрузки. Кроме того, любые проблемы с легкими быстро ускоряют этот процесс, так что, например, многие хронические курильщики страдают от одышки даже безо всяких нагрузок.

Само по себе старение – опять-таки, вне зависимости от других проблем, – вызывает в легких изменения нескольких типов, прежде всего – структурные, сосудистые и иммунные. Старение сосудистой и иммунной систем обсуждаются в других местах этой книги, так что сейчас мы рассмотрим структурные изменения.

Возрастные структурные изменения в легких практически полностью определяются постепенной потерей альвеолярной поверхности (как при ХОБЛ), хотя изменения происходят и между альвеолами (интерстициальные заболевания легких). Альвеолы – маленькие мешочки, благодаря которым в организме происходит газообмен с кровью – с возрастом теряют в численности. Представьте себе два маленьких мыльных пузыря, которые срастаются в один пузырь, чуть побольше. Примерно то же происходит и со многими нашими маленькими альвеолами; в результате уменьшается площадь газообмена, и легкие начинают работать намного менее эффективно. По большей части эта проблема обусловлена потерей самих альвеол, но легочная ткань тоже теряет эластичность, поддержку и мышечные функции, так что мелкие дыхательные пути сужаются. Из-за этих двух проблем мелкие дыхательные пути вообще закрываются, еще уменьшая доступную альвеолярную поверхность. Общий результат всех этих факторов состоит в том, что, несмотря на то, что *объем* легких с возрастом практически не меняется, количество, площадь поверхности и сложность альвеол *внутри* легких уменьшается, так что эффективный газообмен становится поддерживать все сложнее и сложнее. Чтобы поддерживать концентрацию кислорода в крови и удалять из кровеносной системы двуокись углерода, требуется все больше и больше нагрузок. Уровень двуокиси углерода в крови может медленно расти, а уровень кислорода – медленно уменьшаться.

Возникающие в результате симптомы – особенно субъективная нехватка дыхания, – это, пожалуй, самая пугающая из всех возрастных проблем. Затруднение дыхания, как и утопание или удушье, заставляет нас вспомнить самые глубоко засевшие страхи и порождает панику. Острые инсульты и сердечные приступы убивают сразу и внезапно. Болезнь Альцгеймера – это трагедия, а другие возрастные заболевания могут сделать вас инвалидом, но вот затруднение дыхания приводит нас в ужас, и этот ужас лишь увеличивается, когда наши легкие отказывают. К счастью, при нормальном старении легкие до такой степени обычно не отказывают. Большинство из тех, у кого проявляются заметные симптомы, либо были курильщиками, либо имели другие тяжелые проблемы с легкими. Тем не менее, если бы мы жили достаточно долго и у нас раньше не развивались другие возрастные заболевания, то

эти симптомы проявлялись бы у всех. Единственный способ предотвратить их – что-то сделать с фундаментальными клеточными причинами старения легких.

Когда мы стареем, у нас в легких не просто становится меньше клеток: в оставшихся клетках теломеры становятся все короче. Это верно и для клеток, из которых состоят сами альвеолы, и для других типов легочных клеток – интерстициальных, иммунных (например, макрофагов), клеток, из которых состоят стенки капилляров. Во всех случаях эти эффекты – в том числе укорочение теломер – лишь ускоряются курением, тяжелыми и повторяющимися пневмониями и другими травмами легких.

Самая часто диагностируемая возрастная легочная болезнь обычно называется ХОБЛ, хотя с годами терминология менялась. Этот диагноз часто пересекается с эмфиземой, идиопатическим легочным фиброзом, диффузным интерстициальным фиброзом, интерстициальной пневмонией и т. д. Эти диагностические пересечения объясняются тем, что возрастные изменения легких – это целый спектр: меняются как сами альвеолы (при ХОБЛ), так и ткань между альвеолами (интерстициальные болезни легких). Конечно, все подобные изменения так или иначе приводят к снижению функциональности легких, но они могут по-разному проявляться, давать разные симптомы при диагностике и протекать немного по-разному. Впрочем, почти во всех случаях у этого разрозненного набора болезней есть один общий признак: они связаны с возрастом и усугубляются любыми травмами легких, такими как курение, загрязнение окружающей среды, инфекции и т. д. И, что важнее всего, вне зависимости от конкретной болезни результат для пациента одинаков: ухудшение функциональности легких, одышка, неспособность вести нормальную повседневную жизнь и высокий риск смерти.

Возрастные легочные болезни, скорее всего, имеют одну и ту же клеточную патологию: повреждение, потеря клеток, укорочение теломер, изменение паттернов экспрессии генов, изменение функциональности клеток, нарушение функции тканей и в конце концов болезнь. Легочные травмы – курение, воздействие вредных веществ, инфекции и т. д. – лишь ускоряют изменения в клетках легких. Эти травмы повреждают и убивают клетки в легких, заставляя другие клетки быстрее делиться, чтобы заменить их, что, в свою очередь, ускоряет укорочение теломер, эпигенетические изменения и наступление возрастных легочных заболеваний. Кроме симптоматической терапии, сейчас не существует никакого метода лечения, который бы предотвращал, останавливал или значительно замедлял развитие возрастных легочных заболеваний.

Как и в случае с другими системами, для эффективной терапии нам потребуется возможность заново удлинять теломеры легочных клеток.

СТАРЕНИЕ ЛЕГКИХ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: заметная потеря альвеол наблюдается уже на третьем и четвертом десятке жизни. После этого возраста мужчины теряют альвеолы быстрее, чем женщины. Интерстициальные изменения – в тканях между альвеолами – тоже развиваются с возрастом, но их часто диагностируют позже, а протекают они быстрее.

Статистика³³: ХОБЛ диагностируется примерно у 5 % населения. В некоторых развитых странах это четвертая по «популярности» причина смерти. Заболеваемость, скорее всего, будет возрастать в развивающихся странах из-за роста употребления табака, а также по всему миру, когда продолжительность жизни увеличится.

³³ <http://www.cdc.gov/copd/data.htm>

Убытки и затраты³⁴: по оценкам – около 50 млрд долл. США только в Америке.

Диагноз: диагноз часто ставят на основе симптомов (одышка, кашель, мокрота) или медицинского обследования; обычно они подтверждаются рентгеном, анализами легочной функции, уровнем газов в артериальной крови и компьютерной томографией высокого разрешения, особенно в случае интерстициальной болезни легких. В некоторых случаях используется также биопсия легкого.

Лечение: нынешние методы лечения – в основном поддерживающие. Это лечение, конечно, дает облегчение острых симптомов, но вот на развитие заболевания практически никакого влияния не оказывает. Во всех случаях пациенты обязаны бросить курить, а также должны избегать других факторов, ускоряющих повреждение легких, например загрязненного воздуха и инфекций. При лечении применяются антибиотики (для острых бактериальных инфекций), сосудорасширяющие средства, стероиды, прививки (для профилактики пневмококковых и вирусных инфекций), кислородная терапия, легочная реабилитация и – в самых крайних случаях – пересадка легких.

Старение желудочно-кишечного тракта

Желудочно-кишечный тракт идет ото рта до анального отверстия; это набор разнообразных тканей, выполняющих пищеварительные функции: они приносят еду, разлагают ее на компоненты, усваивают питательные вещества и избавляются от остатков. С топологической точки зрения человеческое тело эквивалентно бублику (тороиду); желудочно-кишечный тракт в этом случае представляет собой дыру – или трубку, – проходящую через центр «бублика», хотя эта трубка очень сложна и по форме, и по функциям.

Во рту возрастные изменения в основном касаются зубов – в том числе все более частые периодонтиты и гингивиты. Очень заманчиво было бы списать все возрастные изменения зубов, в том числе постепенную эрозию эмали и потерю зубов, просто на «неизбежный износ». Во многом это верно, и – не считая исходной замены молочных зубов постоянными – нет никаких особых причин считать, что проблемы, связанные только и исключительно с использованием зубов, можно как-то исправить. С другой стороны, многие возрастные изменения усугубляются диетическими факторами риска (сахароза в пище и т. п.) и отказом от чистки зубов. Можно также предположить, что определенную роль играет и старение иммунной системы – особенно при периодонтите, который вызывается хроническими слабыми инфекциями. Данные показывают, что и периодонтит, и иммунное старение коррелируют с укорочением теломер.

Благодаря генам, рациону или гигиене некоторым людям удается сохранить свои зубы более или менее невредимыми до старости, а другие теряют большинство зубов в относительно молодом возрасте, еще до того, как возрастные изменения проявятся в других системах. Да, вполне возможно, что удлинение теломер в иммунных клетках заметно улучшит здоровье полости рта – в частности, предотвратит периодонтит, – и позволит большему числу людей сохранить свои зубы и в старости, но вместе с тем данные показывают, что и диета, и гигиена полости рта всегда будут важными предиктивными факторами для возрастных проблем с зубами.

³⁴ <http://www.lung.org/lung-disease/copd/resources/facts-figures/COPD-Fact-Sheet.html>

Возрастные изменения в печени и кишечнике часто трудно отличить от болезней, никак не связанных со старением, потому что многие из них начинаются или ухудшаются, когда мы стареем, в том числе гастроэзофагеальная рефлюксная болезнь и различные кишечные заболевания – болезнь Крона, регионарный энтерит, синдром раздраженного кишечника и т. д. Во многих случаях эти болезни вызываются (или усугубляются) старением клеток в желудочно-кишечном тракте или иммунной системе, но нет никаких явных причин для обсуждения большинства этих болезней в контексте старения.

Впрочем, в кишечнике все же есть и настоящие возрастные изменения. Большинство этих изменений связано с функционированием стенок кишечника, а не вышеупомянутыми болезнями. В стареющем кишечнике – даже в отсутствие конкретной болезни – возникают, например, заметные проблемы с абсорбцией, иммунными функциями и подвижностью. Старый кишечник не так эффективно усваивает питательные вещества и хуже производит различные ферменты и коферменты, необходимые для более эффективной абсорбции, в частности, железа, кальция, цинка и витаминов В₁₂ и D. Оральные препараты также могут хуже усваиваться, из-за чего дозировка средств становится ненадежной или недостаточной. Стенки кишечника теряют мышечную силу, из-за чего перистальтика – волнообразные сокращения, с помощью которых еда движется по кишечнику – становится менее эффективной, что повышает риск запора. Кроме того, стенки кишечника утрачивают эластичность, и перистальтические волны заставляют их вспучиваться, образуя маленькие кармашки, торчащие сквозь стенки. Эти дивертикулы воспаляются (дивертикулез), или в них развивается инфекция (дивертикулит), что приводит к значительному повышению морбидности или смертности у престарелых пациентов. Почти у половины людей старше 70 лет³⁵ уже есть дивертикулез, который часто сопровождается ухудшением состояния.

В целом клетки желудочно-кишечного тракта – особенно те, что отвечают за абсорбцию и производство коферментов, мышечные и иммунные – делятся и демонстрируют признаки укорочения теломер. Удлинение теломер, скорее всего, поможет смягчить возрастные изменения.

Старение мочеполовой системы

Почки, мочевой пузырь и связанные с ними структуры заметно меняются с возрастом. Некоторые из этих изменений важнее всего для вас лично, например функция ваших почек, а другие отражаются и на тех, кто с вами живет – например, когда вам по несколько раз за ночь приходится будить человека, спящего с вами в одной постели, чтобы сбежать в туалет. И, конечно же, мочевой пузырь – отнюдь не единственный орган мочеполовой системы, который с возрастом начинает работать хуже, а это важно и для вас, и для вашего партнера или супруга.

Работа почек заключается в фильтрации крови: они возвращают в кровообращение то, что вам нужно, и удаляют то, что не нужно. И та и другая функции – и фильтрация, и удаление – с возрастом становятся менее эффективными. Когда мы теряем клетки и заменяем их, теломеры в почечных клетках становятся все короче и короче. Этим старым клеткам, во-первых, меньше, во-вторых, они менее эффективны. Потеря почечных клеток приводит к потере нефронов, фильтрующих аппаратов, которые и выполняют всю работу почек. Как и в других органах, с возрастом меняются и стенки артерий и капилляров. В целом, изменения в почках и кровеносных сосудах с возрастом приводят к увеличению риска гипертонии. Из-за уменьшения количества нефронов и старения клеток эффективность почек уменьшается. Из-за старения артерий и неэффективной фильтрации повышается давление. Наконец, уро-

³⁵ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15624024>

вень некоторых важных молекул в крови, который почки тщательно поддерживают в определенных пределах, тоже идет вразнос. Даже когда эти уровни нормальны, они все равно менее стабильны, и перепады случаются намного чаще, чем у молодых людей. У большинства людей даже старые почки обладают достаточным запасом прочности, чтобы справляться с повседневными потребностями, но чем меньше этот запас прочности, тем вероятнее развитие почечной недостаточности. Чем мы старше, тем меньший стресс требуется, чтобы вызвать серьезные проблемы с почками – вплоть до их полного отказа.

Мочевой пузырь не только сам теряет клетки и клеточную функциональность: клетки стенки мочевого пузыря теряют способность производить и поддерживать эластин и коллаген. В результате мочевой пузырь становится менее эластичным и менее растяжимым и может удерживать меньшие объемы мочи, чем в молодости. Мышцы становятся слабее и уже не могут быстро и полностью освободить мочевой пузырь. В результате нам все реже удается проспать целую ночь без похода в туалет. Из-за всех этих изменений, сопровождающихся еще и старением иммунной системы, постепенно растет вероятность развития инфекций мочевых путей (включая появление в них кандиды и трихомонады).

Значительные изменения в стареющей мочеполовой системе заметно влияют на способность заниматься сексом, причем у обоих полов. Мужчинам с возрастом все труднее поддерживать эрекцию. На развитие и степень тяжести эректильной дисфункции влияют многие факторы, например ожирение, курение, употребление алкоголя, недостаточные физические нагрузки, но нет никаких сомнений в том, что по большей части в проблеме виновато само старение. Алгоритм все тот же: клетки, отвечающие за реакцию сосудов, которая необходима для эрекции, теряют функциональность, когда делятся, теряют теломеры, и у них меняется эпигенетические паттерны. У женщин самые заметные изменения в слизистой оболочке влагалища происходят вместе с менопаузой, но даже там клетки тоже делятся и теряют длину теломер. Изменение эпигенетических паттернов в данном случае вызвано двумя факторами: укорочением теломер и понижением уровня эстрогенов. Эстрогены, как и другие половые гормоны, прикрепляются непосредственно к хромосомам и модулируют экспрессию генов. В результате слизистая оболочка влагалища становится тоньше, мышцы – менее сильными и эластичными, да и смазка выделяется не так обильно.

Старение органов чувств

Изменений в органах чувств происходит великое множество – в осязании, зрении, слухе, обонянии, вкусе. Изменения в осязании нередко остаются незамеченными – возможно, потому, что они происходят очень постепенно и играют не такую большую роль в повседневной жизни и общении. Ухудшение обоняния и вкуса тоже постепенно, но более заметно, особенно когда мы грустим, например, что больше не можем наслаждаться любимой едой. Впрочем, хуже всего – потеря остроты слуха и зрения. Зрение и слух жизненно важны и для работы, и для игры, и для общения. Ухудшение зрения и слуха с возрастом мы ощущаем очень остро.

Мы отмечаем потерю эффективности всех органов чувств, но эта потеря чаще связана не с чувствительностью *внутри* рецептора, а со способностью отличать *один рецептор от другого*. Например, в случае с осязанием каждый отдельный рецептор может сохранять прежнюю чувствительность, а вот количество рецепторов сокращается.

Этот принцип практически универсален, и его часто неправильно понимают. Например, слуха можно лишиться двумя разными способами. Из-за потери чувствительности рецепторов мы теряем возможность слышать тихие звуки. А если мы лишимся способности отличать разные рецепторы друг от друга, то, слыша речь, не сможем разобрать слова.

Осязание

С осязанием все довольно просто: с возрастом мы теряем рецепторы. Мы рождаемся с заранее определенным количеством рецепторов. Это значит, что количество рецепторов на 1 мм² кожи уменьшается, когда мы взрослеем, и общая площадь кожи увеличивается. Впрочем, с возрастом мы начинаем еще и терять рецепторы. Любой конкретный рецептор, например определяющий легкие прикосновения, может оставаться таким же чувствительным, как и всегда, но наша способность точно определить точку контакта уменьшается из-за потери рецепторов. Мы по-прежнему понимаем, что к нам прикоснулись, но не уверены, где и что именно нас коснулось. Точнее всего такая потеря чувствительности измеряется тестом на «различение двух точек»: способность отличить, коснулись вас однажды, или же это два одновременных прикосновения на небольшом расстоянии друг от друга. Впрочем, субъективно мы скорее замечаем потерю чувствительности, когда уже не можем на ощупь идентифицировать, например, типы ткани или содержимое карманов или сумок. Короче говоря, мы с возрастом все хуже определяем предметы на ощупь.

Данные говорят³⁶, что количество осязательных рецепторов к 70 годам уменьшается более чем на 80 %, так что осязание у нас работает хуже, чем в молодости. Если внимательнее присмотреться к коже, то можно заметить, что количество нервов часто практически не меняется, а вот количество рецепторов на нерв и проводимость с возрастом очень заметно снижается. В старости мы медленнее замечаем и хуже понимаем, к чему прикоснулись.

Все эти изменения, скорее всего, объясняются клеточным старением. Периферические нервы делятся редко, так что клеточное старение в них маловероятно, но вот клетки, из которых состоят миелиновые оболочки периферических нервов, которые обеспечивают быструю передачу сигналов, стареют – как и клетки самих периферических рецепторов. Периферические рецепторы, определяющие легкое прикосновение, боль, температуру или давление, заменяются при нормальном использовании и, таким образом, подвержены клеточному старению из-за укорочения теломер.

Обоняние и вкус

С возрастом мы постепенно теряем возможность различать запахи и вкусы. Как и в случае с периферическим обонянием, это побочный эффект старения клеток-рецепторов – обонятельных рецепторов в носу и вкусовых сосочков во рту. Мы практически не теряем способности реагировать на резкие стимулы – горький вкус и неприятные запахи, – но вот чувствовать тонкие различия вкуса или запаха уже не можем, что особенно заметно при приеме пищи. Еда становится менее заманчивой и менее приятной.

Потеря эффективности всех органов чувств чаще связана не с чувствительностью внутри рецептора, а с возникающей неспособностью отличать один рецептор от другого.

Обоняние явно ухудшается с возрастом, но точные измерения сделать трудно: как подсчитать что-то настолько субъективное, как запах? Тем не менее, большинство исследований показывает, что потеря обонятельной чувствительности происходит у многих людей к 70 годам, а к 80 лишь обостряется. Эти изменения коррелируют с заметным уменьшением числа обонятельных рецепторов. Рецепторы, конечно, восстанавливаются – особенно у молодых млекопитающих, – но скорость восстановления снижается с возрастом, так что обонятельная площадь в носовой полости уменьшается, как уменьшается и количество рецепторов в ней. Примерно такой же процесс – правда, не такой резкий и менее заметный – происходит

36

<http://informahealthcare.com/doi/abs/10.1080/08990220310001622997>

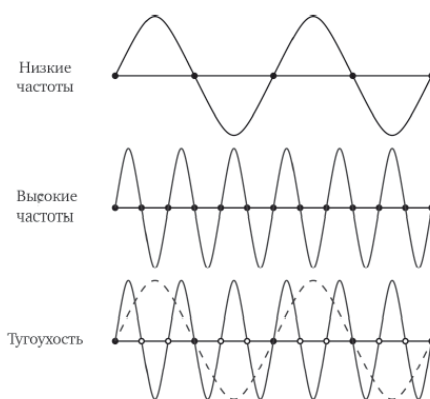
и со вкусовыми сосочками на языке. Например, у молодых взрослых рецепторов в половину меньше, чем у детей, и мы продолжаем терять их с возрастом. Впрочем, наша способность различать пять основных вкусов – сладкий, кислый, горький, соленый и умами – ухудшается намного меньше, чем способность чувствовать запахи. Поскольку запахи играют большую роль в наслаждении пищей, мы ощущаем заметную субъективную потерю способности получать удовольствие от еды или отличать тонкий вкус от самого простого.

Постепенная потеря вкусовых и обонятельных рецепторов и способности их восстанавливать, скорее всего, вызвана клеточным старением. На данный момент утрату этих чувств невозможно вылечить, но удлинение теломер в оставшихся рецепторах выглядит многообещающим клиническим методом.

Слух

Даже в век СМС-сообщений и электронной почты *слух* остается одним из важнейших средств поддержания общения. В нашей культуре использование звука для функционирования является практически обязательным требованием – не считая разве что языка жестов и письма. Когда мы стареем, то начинаем слышать хуже; один из известнейших штампов – изображение старика, который прикладывает руку к уху и переспрашивает: «Что?» Пресбикузис – старческая глухота – встречается практически у всех, хотя, конечно, по тяжести она может различаться. Что интересно, самое распространенное возрастное ухудшение слуха связано со способностью слышать не очень тихие, а высокочастотные звуки, из-за чего становится трудно различать согласные звуки в чужой речи, слышать щебет птиц или звонок телефона в соседней комнате.

Итак, с возрастом нам становится труднее понимать речь – как людей, стоящих рядом с нами в комнате, так и персонажей кино или телешоу. Тугоухость мало влияет на низкочастотные звуки – гласные, – но вот с согласными возникают немалые трудности. Дело не в том, что мы не слышим, что нам говорят. Нам просто становится труднее различить, допустим, слова *песком* и *пешком*, *огород* и *оборот* или *холод* и *голод*, и, соответственно, труднее понять смысл произнесенной фразы.



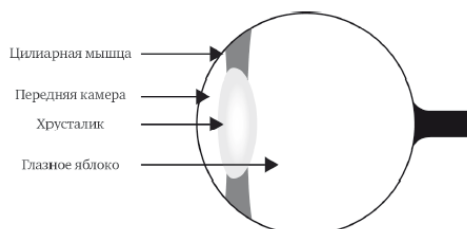
Потеря слуха с возрастом.

Потеря способности различать высокочастотные согласные вызвана тем, как работают наши слуховые рецепторы. Звук состоит из коротких стоячих волн (см. график), вызывающих сигналы слуховых рецепторов (обозначены черными кружками). Высокочастотные звуки вызывают сигналы в большем числе рецепторов, низкочастотные – в меньшем числе. Старая – и теряя часть слуховых рецепторов, обозначенных белыми кружками, – мы теряем способность различать высокочастотные звуки, в том числе и согласные звуки в речи.

От потери способности слышать высокочастотные звуки (и понимать речь) страдают практически все пожилые люди, но многие из нас с возрастом сталкиваются и с другими, менее специализированными видами тугоухости и глухоты. Потеря слуха может вызываться самыми разными причинами – потерей большого количества слуховых рецепторов, повреждением нервов, атеросклерозом, диабетом, гипертонией, травмами, повреждениями от лекарственных средств и т. д. Многие из этих причин, например атеросклероз, напрямую связаны с клеточным старением, но другие, например травмы и повреждения от лекарственных средств, не имеют к старению никакого отношения. Потеря рецепторов, впрочем, напрямую вызвана старением клеток, потому что слуховые рецепторы не обновляются и не функционируют так, как должны. Опять-таки, единственным эффективным методом вмешательства видится удлинение теломер оставшихся клеток.

Зрение

Большинство из нас считают зрение самым жизненно важным чувством. Зрение с возрастом меняется по-разному, хотя полная слепота очень редка. После 40 лет практически все начинают испытывать трудности при фокусировке зрения на близких предметах. Нам становится трудно читать и, например, вдвигать нитку в иголку или насаживать крючок на леску. Обычно считается, что это изменение – пресбиопия – связана с возрастными изменениями хрусталика, но, возможно, оно вызывается изменениями в цилиарных мышцах, контролирующих форму хрусталика, а также в форме глазного яблока и связанных с ним структур (астигматизм). Сам хрусталик состоит из прозрачных клеток, которые преломляют свет, создавая сфокусированное изображение на сетчатке; он может фокусироваться либо на близких, либо на далеких предметах. У клеток хрусталика нет ни прямого кровоснабжения, ни митохондрий, но они остаются метаболически активными. Эти клетки производят основной прозрачный белок, кристаллин, но обновляются ли эти белки во взрослом хрусталике, пока не очень ясно.



Цилиарные мышцы контролируют форму хрусталика человеческого глаза, позволяя ему фокусироваться и на близких, и на далеких предметах. По поводу того, почему нам с возрастом становится труднее фокусироваться на близких предметах, есть разные мнения.

Общего согласия по поводу главной причины возрастной пресбиопии пока нет, но, возможно, дело в постепенном накоплении клеток на внешних слоях хрусталика, что делает его менее эластичным и меняет его форму. После 20 лет хрусталик становится круглее, из-за чего цилиарным мышцам приходится прилагать больше усилий, чтобы сфокусировать взгляд. Если эта простая модель точна, то клеточное старение само по себе, скорее всего, значительной роли не играет, так что для борьбы с пресбиопией придется и дальше использовать проверенный временем подход – очки и контактные линзы. С другой стороны, вполне возможно, что эпигенетические изменения косвенным образом влияют на обновление белков хрусталика или формы самого хрусталика. Точно так же возможно и то, что клетки цилиарных мышц стареют, ослабляя их, и мышцы уже не могут так же эффективно фокусировать хрусталик, так что эти клетки могут быть хорошей точкой для медицинского вмешательства,

если мы научимся удлинять теломеры. Вопрос, можно ли с помощью теломеразной терапии облегчить течение пресбиопии, пока остается открытым.

Менее очевидное возрастное изменение зрения – постепенная потеря контрастной чувствительности, которая происходит, когда сетчатка уже не может различать мелких деталей. Это может вызываться различными факторами, но одна из главных причин – скорее всего, потеря ганглионарных клеток сетчатки. Ганглионарные клетки отвечают за первоначальную обработку визуальной информации в сетчатке, еще до отправления ее в мозг. Ганглионарные клетки настроены на разные частоты, так что с уменьшением численности этих клеток мы в определенной степени теряем способность различать мелкие детали. Представьте, что вместо современного телевизора с высоким разрешением вам дали старый кинескопный – это примерно то же самое. Что интересно, определенная часть этих клеток также отвечает за реакцию зрачка на свет и модуляцию наших циркадных ритмов; и то, и другое с возрастом начинает доставлять проблемы – скорее всего, именно из-за постепенной потери этих клеток.

Пресбиопия – это самое распространенное возрастное изменение зрения, но не его боятся больше всего. Резкая потеря реального зрения, а не просто его остроты, может стать результатом разнообразных заболеваний, в том числе макулодистрофии, глаукомы, катаракты, диабетического поражения глаз и т. д. Некоторые из них явно связаны с изменениями в сосудистой системе – о них речь пойдет в следующей главе, – но причины других находятся внутри глаза.

Возрастная макулодистрофия – одна из главных причин слепоты, особенно у пожилых людей. Она печально знаменита тем, что атакует «центр визуального внимания», центральную ямку сетчатки, так что у людей просто не получается разглядеть то, на чем они пытаются сфокусировать зрение, даже если их периферийное зрение сохранилось в более-менее нормальном состоянии. Из-за этого они не могут читать, видеть лиц и вообще делать что-либо, что связано с визуальными деталями. Люди с макулодистрофией могут видеть периферийные предметы, и это помогает им передвигаться и выполнять многие повседневные действия, но заболевание постепенно прогрессирует. У пожилых людей риск высок и постоянно возрастает. Макулодистрофия наблюдается примерно у каждого десятого пожилого человека в первое десятилетие после ухода на пенсию (в возрасте 65–75 лет), а вот в следующее десятилетие – уже у каждого третьего. Макулодистрофия начинается с осаждения желтого пигмента (формирования друз) в желтом пятне. Источник этого пигмента пока не выяснен – возможно, соседние клетки, возможно, клетки иммунной системы, – но можно предположить, что он производится и модулируется клетками, и эти функции при старении клеток нарушаются. Если дело действительно в этом – если отложения вызываются эпигенетическими изменениями стареющих клеток, – то можно с уверенностью сказать, что нынешние методы лечения неэффективны: так и есть, потому что они занимаются лечением симптомов, а не причин. Можно ли предотвратить или вылечить возрастную макулодистрофию с помощью удлинения теломер, пока не ясно, но, скорее всего, работа в этом направлении будет эффективнее нынешних видов терапии.

Катаракта – это заболевание хрусталика, которое чаще развивается с возрастом; является причиной примерно половины всех случаев слепоты в мире. Одной из основных причин катаракты считается просто старение, но также обнаружены ее связи с диабетом, травмами, воздействием ионизирующего излучения (особенно ультрафиолетового), генетикой, болезнями кожи, курением и некоторыми лекарствами. Когда катаракта прогрессирует, хрусталик становится все менее прозрачным, и в конце концов зрение полностью теряется. Само слово – метафора, обозначающая белую (а не прозрачную) воду в водопаде. Катаракта, похоже, связана с увеличением содержания воды в белках хрусталика. Сами белки денатурируются и с возрастом начинают деградировать. Предполагалось, что белки хрусталика в течение

жизни не меняются – и, соответственно, не ремонтируются и не обновляются, – но недавние исследования показывают, что это слишком упрощенный взгляд³⁷. Механизмы пока неясны, но белки хрусталика постепенно все же обновляются, даже у взрослых, и это, судя по всему, результат изменения паттерна экспрессии генов. Хрусталик – даже взрослого человека – это динамический орган, который обычно сохраняет способность к транспортировке и замене кристаллиновых белков. Когда хрусталик лишается этой способности, возникает катаракта. Можно ли предотвратить или вылечить катаракту с помощью нормализации эпигенетических паттернов и возвращения к нормальному обновлению белков? Пока неизвестно, но на клинические испытания возлагается немало надежд.

Глаукому иногда называют «безмолвным вором зрения», хотя быстро наступающая закрытоугольная форма обычно вызывает боль, так что «безмолвной» ее назвать трудно. После катаракты глаукома – вторая в мире по частоте причина слепоты. Глаукому обычно вызывает повышенное давление в передней камере глаза – пространстве между роговицей и хрусталиком. Оно отталкивает хрусталик назад и повышает давление внутри глазного яблока, а это постепенно приводит к ухудшению кровоснабжения глаза. Результатом может стать гибель клеток сетчатки, визуальных рецепторов и зрительного нерва, что в конце концов вызывает слепоту. Причина проблемы лежит в ресорбции жидкости – водянистой влаги – из передней камеры. Жидкость продолжает производиться, и если ее ресорбция недостаточна, то поднимается давление, и развивается глаукома. В современной медицинской терапии больше всего внимания уделяется либо уменьшению производства водянистой влаги, либо увеличению ее оттока с помощью различных механизмов. Существует по крайней мере два основных типа глаукомы, открытоугольная и закрытоугольная, но точные клеточные механизмы и их связь с клеточным старением остаются неисследованными. Впрочем, в нескольких случаях гены из теломерного региона оказались связаны с некоторыми формами глаукомы. У более типичных форм глаукомы ее связь со старением определенно говорит о том, что эпигенетические изменения являются одной из причин болезней, и они будут реагировать на теломеразную терапию.

Болезни, прямо связанные с теломерами

Кроме нормальных возрастных заболеваний, существует еще и несколько болезней, которые, как было доказано, непосредственно связаны с обновлением теломер. Многие из них вызваны ненормальным функционированием теломеразы или самих теломер и обычно являются генетическими.

Врожденный дискератоз

Врожденный дискератоз (ВДК) – это генетическая болезнь, вызванная ненормальным обновлением теломер; если конкретно – одной из как минимум трех (а возможно, и большего числа) мутаций, влияющих на РНК-компонент теломеразы. В результате клетки – особенно стволовые – не могут поддерживать нормальную длину теломер во время развития. Как и можно было бы ожидать, у хромосом с укороченными теломерами повышается риск генетических мутаций и, соответственно, рака. Кроме того, у больных ВДК наблюдаются необычная пигментация кожи, преждевременная седина, ненормальные ногти и т. д. Болезнь обычно диагностируется еще до полового созревания; примерно 75 % пациентов – мужского пола. Самая большая клиническая проблема – не очевидные симптомы, а то, что у 90 % больных ненормально работает костный мозг, и это приводит к смерти примерно 70 % из них от кровотечения или (реже) отказа печени. Что вполне предсказуемо, учитывая ненормальное

³⁷ <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmecl/15624024>

развитие теломер, многие свойства ВДК чем-то напоминают раннее старение. Есть все причины считать, что теломеразная терапия сможет эффективно вылечить ВДК, в частности, потому, что в лабораторных условиях проблему удалось исправить, удлинив теломеры³⁸.

Прогерии

Прогерии – это ряд болезней со схожими симптомами: прогерия Гетчинсона – Гилфорда, синдром Вернера, акрогерия, метагерия и другие. В случае с «классической», или детской, прогерией Гетчинсона – Гилфорда, редким генетическим расстройством, теломеры короткие уже с рождения – судя по всему, это связано с дефектом ламина А, белка, воздействующего на внутреннюю мембрану ядра и вызывающего ненормальное обновление теломер. Длина теломер при рождении соответствует длине нормальных теломер 70-летнего человека. Учитывая, насколько у таких детей «старые» клетки, неудивительно, что они выглядят, как пожилые, и умирают в среднем в возрасте 12,7 лет, обычно – от атеросклероза (сердечных приступов и инсультов). Причем, хоть они и выглядят стариками, и у них «старые» кровеносные сосуды, кожа, волосы и суставы, у них при этом нет повышенного риска развития болезни Альцгеймера или одряхления иммунной системы. Дефект в ламине А приводит к образованию неправильной формы белка, который называется прогерин – он встречается и в нормальных старых клетках. Поначалу эта ненормальность привлекла большое внимание, но попытки исправить неправильную форму белка с помощью ингибиторов фARNзилтрансферазы оказались неудачными – с тем же успехом можно запереть конюшню после того, как из нее уже увели лошадь. Более очевидное медицинское вмешательство – удлинение теломер – не рассматривалось, несмотря на то, что было предложено еще 20 лет назад³⁹, в том числе в учебниках по медицине⁴⁰.

ВИЧ/СПИД

ВИЧ и СПИД очень любопытным образом связаны с более распространенными возрастными заболеваниями, потому что быстрое обновление клеток приводит к не менее быстрому укорочению теломер в лимфоцитах. Результат напоминает старение иммунной системы, правда, ограниченное конкретными типами клеток, но усугубленное дополнительными повреждениями, нанесенными вирусом организму. Вирус ВИЧ заражает клетки иммунной системы, особенно Т-лимфоциты и дендритные клетки. Когда зараженные клетки умирают, организм реагирует, вызывая деление иммунных клеток, и длина теломер в этих клетках с течением болезни становится все меньше. Пока организму удастся восстанавливать гибнущие лимфоциты, сохраняется нестабильное равновесие, но когда теломеры укорачиваются, скорость деления клеток замедляется, а функциональность новых клеток становится все более ограниченной. А затем наступает относительно внезапная точка перегиба от морбидности к смертности. Уже довольно давно выдвигалось предположение, что теломераза, хоть она и не является лекарством от ВИЧ, может предотвратить смерть, помогая организму постоянно поддерживать иммунный ответ, а не постепенно лишаться всех иммунных клеток. Поскольку сейчас уже существует несколько довольно эффективных методов лечения ВИЧ – противовирусные средства, высокоактивная антиретровирусная терапия (ВААРТ) и особенно ингибиторы протеазы ВИЧ, а также ожидаемая в обозримом будущем вакцина от ВИЧ, – возможную пользу от применения теломеразы практически не рассматривали, хотя она и остается потенциально эффективной точкой медицинского вмешательства.

³⁸ Gourronc, F.A. et al. "Proliferative Defects In Dyskeratosis Congenita Skin Keratinocytes Are Corrected by Expression of the Telomerase Reverse Transcriptase, TERT, or by Activation of Endogenous Telomerase Through Expression of Papillomavirus E6/E7 or the Telomerase RNA Component, TERC." *Experimental Dermatology* 19 (2010): 279-88.

³⁹ Fossel, M. *Reversing Human Aging* (New York: William Morrow and Co., 1996).

⁴⁰ Fossel, M. *Cells, Aging, and Human Disease* (New York: Oxford University Press, 2004).

Рак

Рак – это большой вопрос в любой дискуссии по поводу использования теломер в качестве цели для терапии. Вопрос ставится в самых разных формах, но суть его состоит в том, безопасна ли теломераза, или, если сложнее, защищают ли длинные теломеры от рака или, наоборот, вызывают его. Лаконичнее всего он формулируется так: вызывает ли теломераза рак?

Нет, теломераза не вызывает рак.

Да, теломераза может предотвратить большинство видов рака.

Дискуссия начинается со своеобразного парадокса: большинство раковых клеток производят теломеразу, которая должна удлинять теломеры, но при этом у большинства раковых клеток короткие теломеры. С другой стороны, среди нормальных клеток, которые обычно не производят теломеразу, с наименьшей вероятностью становятся раковыми именно клетки с длинными теломерами. Присутствие теломеразы в раковых клетках, казалось бы, говорит о том, что она вредна, но тот факт, что длинные теломеры защищают от рака, в то же время говорит, что она полезна.

Более того: теломеразный ингибитор считается хорошим кандидатом для противораковой терапии, а использование теломеразного активатора помогает для профилактики рака. Иными словами, *ингибированием* теломеразы можно лечить рак, а *активированием* теломеразы – предотвращать его.

Как и то, и другое может быть верно одновременно?

Чтобы понять ценность теломеразы для раковых и нормальных клеток, нужно для начала кое-что знать о самом раке. Причина большинства видов рака – ненормальный ген или, зачастую, несколько генов, которые либо получены по наследству (что редко), либо являются результатом приобретенной мутации. Многие наследуемые гены не *вызывают* рак, но повышают вероятность его развития. Самый известный из этих генов – ненормальный *BRCA1* и *BRCA2*; в зависимости от конкретного варианта гена вероятность рака груди у женщин достигает 80 %. Этот конкретный набор генов участвует в ремонте ДНК, так что ненормальный ген *BRCA* повышает риск повреждения ДНК, потому что поврежденные участки больше не ремонтируются. У большинства видов рака мы видим похожий шаблон: все растущие проблемы с поддержкой нормальных генов и хромосом – это называется геномной нестабильностью. При раке, каким бы ни был источник ненормальности – унаследованным, приобретенным, и то и другое, – клеточным результатом обычно является геномная нестабильность, а клинический результат прост: рано или поздно клетка становится раковой.

С метафорической точки зрения раковые клетки можно считать социопатами, которые разгуливают по неблагополучным районам тканей. У нормальных клеток есть специфические локальные функции, и от ненормального деления их удерживают разные внутренние и внешние факторы. В нормальных тканях клетки получают химические сигналы, которые говорят им, когда делиться, а когда не делиться. Например, нормальные клетки в груди не делятся, если не требуется замена, а вот раковые клетки делятся вне зависимости от подобных сигналов. В нормальных, не раковых, клетках, у которых повреждена ДНК, есть внутренние сигналы, которые не дают им делиться, даже когда приходит внешний сигнал «делиться». Раковые клетки, с другой стороны, игнорируют все ингибирующие сигналы – и внешние, и внутренние, вне зависимости от того, повреждена ДНК или нет, – и делятся.

С раковыми клетками есть две проблемы: во-первых, они делятся, во-вторых, они не работают. Частое деление приводит к образованию массы ненужных клеток, и эти клетки не

только оттягивают на себя метаболические ресурсы: сама по себе масса может быть смертельно опасной, как, например, при раке мозга, который сжимает мозг внутри черепа. Более того, из-за того, что раковые клетки не реагируют ни на внутренние, ни на внешние сигналы – именно поэтому они делятся, даже когда не должны, – страдают и другие клеточные функции. Раковые клетки, которые должны производить конкретный белок, например некоторые лейкоциты, начинают производить не тот белок, или нужный белок, но в избыточном количестве, или вообще перестают что-либо производить. Конечно, если так себя будет вести единственная поврежденная клетка, никаких проблем не будет – вокруг нее целый миллион нормальных. Причина, по которой раковые клетки так смертельно опасны, – они продолжают делиться, пока их не становится очень много. Короче говоря, с клинической точки зрения ключ к борьбе с раком – предотвращение деления раковых клеток.

Один из способов победить рак – заставить раковые клетки умереть от старости. Эту функцию берут на себя теломеразные ингибиторы.

Во всех нормальных клетках вашего тела есть три основных защитных механизма от несанкционированного деления клеток из-за повреждений ДНК. Первый: клетка обнаруживает поврежденные участки ДНК и чинит их. Раковые клетки неспособны отремонтировать повреждения своей ДНК, так что первая линия обороны не срабатывает. Второй механизм: когда обнаруживается повреждение ДНК, нормальная клетка отключает клеточный цикл, чтобы не копировать поврежденную ДНК и не делиться. Даже если ДНК никогда не отремонтируется, клетка, по крайней мере, не станет делиться и создавать новые поврежденные, т. е. раковые клетки. Система остановки клеточного цикла невероятно эффективна. Но представьте, что произойдет, если повредится участок ДНК, отвечающий как раз за остановку клеточного цикла. В этом случае поврежденная клетка продолжает делиться, невзирая на риск для организма, и раковые клетки становятся все многочисленнее.

Укорочение теломер (и клеточное старение) – это третий механизм защиты от рака.

Теломеры работают двумя способами. Когда они укорачиваются, то деактивируют клетку с помощью эпигенетических изменений, а если не удастся и это, то потеря теломер в конечном итоге гарантирует, что хромосомы станут нерабочими, потому что начнут терять не только теломеры, но и (в очень крайнем случае) даже гены. Клетки с укорачивающимися теломерами с большой вероятностью умирают из-за все усиливающихся эпигенетических изменений, но вот клетки без теломер вообще не могут выжить из-за потери генов. Чтобы выжить, раковые клетки должны поддерживать в себе теломеры, по крайней мере, минимально, и они это делают.

Большинству видов рака удается поддерживать в себе короткие, но едва-едва работающие теломеры; в результате им удается выживать и размножаться, но из-за коротких теломер они очень быстро мутируют. Раковые клетки мутируют постоянно; многие из них умирают, но вот те, которым удается выжить, все сильнее сопротивляются и ингибирующим сигналам, и другим ограничениям, накладываемым на рост нормальных клеток. По сути, после того, как одной клетке удастся сбежать из-под ограничений и начать мутировать, ее дочерние клетки становятся все более и более злокачественными, потому что отбор проходит именно по этим характеристикам. Этот процесс продолжается, и раковые клетки учатся обходить иммунную защиту организма: быстрая скорость мутаций гарантирует выживание именно тем клеткам, которые умеют так делать.

Можно задать вполне логичный вопрос: как раку удается выжить, несмотря на все внутренние и внешние защитные механизмы и на то, что он постоянно мутирует, потому что мутации повреждают клетку? Ответ прост: большинство раковых клеток не выживает. Большинство раковых клеток первых поколений прекращают делиться, реагируя либо на внешние, либо на внутренние ингибирующие сигналы. У тех клеток, которые переживают

этот этап, теломеры укороченные, так что почти все они умирают от клеточного старения или прямого повреждения хромосом. Те, которым удается выжить, поддерживая минимальную длину теломер, часто умирают от иммунного ответа организма или – в случае с раковыми опухолями – потому, что не могут поддерживать кровоснабжение. Большинство раковых клеток не выживает, и именно поэтому большинство из нас не умирает от рака еще в детстве.

Проблема рака – в том, что не все раковые клетки гибнут в столкновении с нашими защитными системами. Тех очень немногих, которым удается преодолеть все перечисленные препятствия, обычно оказывается вполне достаточно, чтобы вызвать рак, от которого умирает столько людей.

Так какую же роль теломераза играет при заболевании раком?

Если теломеры достаточно длинные, клетки обладают геномной стабильностью: они могут эффективно предотвращать или чинить генетические повреждения и с большой вероятностью никогда не станут раковыми. Так что если клетка производит достаточно теломеразы, чтобы ее теломеры оставались длинными, то теломераза защищает от рака.

Но если теломеры короткие, то у клеток начинается геномная *нестабильность*; они не могут предотвратить генетические повреждения и мутации, и вероятность того, что они станут раковыми, высока. Проблема состоит в том, что многие раковые клетки производят ровно столько теломеразы, чтобы поддерживать у себя очень короткие теломеры (или находят какой-то альтернативный способ поддержки коротких теломер). Если проще, для пациентов в плане выживания было бы лучше всего, если бы наши нормальные клетки производили много теломеразы, чтобы защитить нас от рака, *или* если бы раковые клетки вообще не производили теломеразу и быстро умирали. Худший возможный сценарий – это когда раковые клетки производят ровно столько теломеразы, чтобы не только выжить, но и со временем становиться все хуже – а именно таковы большинство раковых клеток.



Длина теломер и рак.

Вот почему один из многообещающих способов лечения рака – использование теломеразных ингибиторов, чтобы заставить раковые клетки умереть от старости. При этом, конечно, будет неприятный побочный эффект – теломераза будет ингибироваться и в стволовых клетках, которые важны для нашего выживания в долгосрочной перспективе, но это, возможно, будет не очень высокой ценой за лечение рака. Польза – выживание здесь и сейчас, риск – хроническая недостаточность тканей и высокий риск развития различных возрастных заболеваний.

Учитывая все, что мы знаем о раке, будет ли полезна теломераза здоровым людям? В большинстве случаев теломераза будет невероятно полезной: она предотвратит или вылечит многие возрастные заболевания и значительно снизит риск возникновения рака. Но вот если у пациента уже есть рак, результат не так однозначен. Удлинение теломер у пациента, больного раком, может быть полезным: клетки снова получают возможность ремонтировать свою ДНК и восстанавливаться от раковых изменений. При таком развитии событий теломераза не только предотвратит, но и вылечит многие виды рака. С другой стороны, если теломе-

разная терапия сможет лишь поддерживать длину коротких теломер, а не удлинять их, то мы просто будем продлевать жизнь раковых клеток. Есть и еще одно соображение: восстановление длины теломер в клетке с *наследственным* дефектом в механизме ремонта ДНК только лишь даст этой клетке возможность делиться и передавать дефект и дальше; какой бы длины ни были ее теломеры, проблему это не решит.

Что действительно интересно, так это то, что у людей с возрастом вероятность развития рака растет, но точно так же вероятность растет у мышей и крыс, хотя они живут в 30 раз меньше нас. Получается, что раковые мутации – это *не просто* накопление повреждений, нанесенных космическими лучами, ультрафиолетовым излучением и спонтанными молекулярными изменениями (молекулы могут изомеризоваться при температуре тела), потому что все эти факторы с одинаковой скоростью воздействуют и на мышей, и на людей. В большей степени это следствие кумулятивного *спада* в ремонте ДНК, который вызывается укорочением теломер. Короче говоря, если мы сможем восстановить теломеры, то сможем уменьшить заболеваемость раком. С помощью ингибиторов теломеразы мы, возможно, сможем *лечить* некоторые виды рака, но, скорее всего, с помощью активаторов теломеразы мы сможем *предотвратить* – вообще в принципе – большинство видов рака. Теломераза, если она достаточно активна, скорее всего, сможет предотвратить или вылечить некоторые виды рака на ранней стадии (а не усугубить их), но вот людям с наследственными генетическими проблемами она не поможет.

В целом картина ясна: по большей части теломераза защищает от рака.

Итоги и выводы

В рассмотренных нами возрастных заболеваниях клинические проблемы старения вызываются клеточным старением. В клетках, которые делятся, укорачиваются теломеры, меняется паттерн экспрессии генов, и клетки становятся все менее эффективными, а потерянные клетки медленнее восстанавливаются. Когда старые клетки не работают и плохо восстанавливаются, стареющие ткани теряют свою функциональность, и развивается очевидное возрастное заболевание.

Если мы сможем восстановить длину теломер в этих клетках, то сможем и восстановить паттерн экспрессии генов и сделать их молодыми с функциональной точки зрения. Как мы увидим, есть все причины считать, что теломеразу можно использовать для профилактики и лечения большинства возрастных заболеваний.

Глава шестая

Косвенное старение: невинные наблюдатели



До сих пор я в основном говорил о стареющих клетках и болезнях, возникающих в тканях, которые составлены из этих клеток. Я называю это «непосредственным старением» – причинно-следственным процессом, который запускается, когда с каждым новым делением клеток укорачиваются теломеры, и прогрессирует, вызывая изменения экспрессии генов и дисфункцию клеток, которые, в свою очередь, ведут к клинически очевидным возрастным заболеваниям в похожих окружающих клетках.

Но в нашем организме есть и клетки, которые либо никогда не делятся, либо делятся так нечасто, что их теломеры практически не укорачиваются вне зависимости от вашего возраста. Можно было бы подумать, что это защитит неделящиеся клетки от возрастных заболеваний.

Нет, не защитит.

На самом деле все совсем иначе. Многие самые распространенные и смертоносные возрастные заболевания поражают именно клетки, которые *не* делятся, потому что неделящиеся клетки всегда очень сильно зависят от клеток, которые все же делятся. Большинство людей на этой планете умирают от болезней, при которых неделящиеся клетки – клетки, которые не стареют, – перестают работать, потому что зависят от делящихся клеток, которые стареют.

В случае с сердечными приступами, например, мы умираем, потому что умирают мышечные клетки сердца. Сами эти мышечные клетки практически не меняются с возрастом, но выживание сердечных клеток полностью зависит от кровоснабжения, которое обеспечивается коронарными артериями. Сердечные приступы случаются из-за блокирования коронарных артерий. В клетках, выстилающих коронарные артерии, теломеры укорачиваются очень быстро, предшествуя развитию атеросклероза. Мы умираем не из-за старого сердца, а из-за старых артерий. Так или иначе, подобная косвенная патология – причина большинства смертельных возрастных заболеваний.

Болезни, которых мы боимся больше всего, вызываются «косвенным старением». Клетки – «невинные наблюдатели», которые сами по себе никак не ухудшают своих функций с возрастом, умирают, потому что зависят от других клеток, которые стареют быстро. При инфарктах, инсультах, болезни Альцгеймера, болезни Паркинсона и многих других похожих заболеваниях умирающие клетки зависят от других клеток, у которых теломеры укорочены.

Давайте рассмотрим две крупные категории косвенного старения: возрастные артериальные заболевания и возрастные заболевания нервной системы.

Сердечно-сосудистые заболевания

Сердечно-сосудистые заболевания, особенно инфаркт миокарда, ужасны в первую очередь тем, как внезапно начинаются приступы. Мы можем чувствовать себя прекрасно, в полной безопасности, совершенно здоровыми и даже не очень старыми, а в следующий момент наступает боль и ужас, и, может быть, даже внезапная смерть. Чтобы постарела система кровеносных сосудов, требуются десятилетия, но мы часто даже ничего и не знаем об этом растущем риске, а клинический результат – мгновенный переход к беспомощной смертности – становится неожиданной, но неизбежной реальностью.

Термин «сердечно-сосудистые заболевания» очень распространен, но на самом деле, упоминая его, мы говорим о *первичной* проблеме внутри кровеносных сосудов (почти всегда – артерий), которая затем вызывает *вторичную* проблему в сердце, мозге или других органах. Сначала развивается болезнь сосудов, а потом отказывают органы. Точнее было бы говорить просто «сосудистые заболевания», но, поскольку в больницу мы попадаем из-за отказа конкретных органов, то термин расширяется до «сердечно-сосудистых». Этот термин, правда, все равно не включает в себя мозг и многие другие части тела, зависимые от здоровых артерий. Мы умираем из-за стареющих сосудов, но именно в сердце, мозге, почках или даже конечностях возникают трагические проблемы, когда артериальное старение прогрессирует и в конце концов приводит к смертельному исходу.

Общий термин, обозначающий старение или «затвердевание» артерий, – это «артериосклероз», но, поскольку в старении сосудов часто играют заметную роль холестериновые бляшки, можно ограничиться и термином «атеросклероз». В любом случае, вне зависимости от наличия бляшек, стенки артерий меняются с возрастом, обычно становясь менее эластичными и гибкими, потому что клетки не успевают восстанавливать внеклеточные белки – особенно эластин и коллаген, – которые обеспечивают нормальное, здоровое функционирование сосудов.

В результате стенки наших артерий становятся «твердыми» и теряют способность растягиваться, реагируя на изменения артериального давления. В стареющих артериях с большей вероятностью образуются аневризмы, которые могут прорваться или протечь, артериальное давление растет и хуже адаптируется к изменению позы или физиологических потребностей. Несмотря на то, что измеряемое артериальное давление часто растет, приток крови к органам, снабжаемым кровеносной системой, часто уменьшается, из-за чего, например, мозг страдает одновременно от высокого давления и недостаточного снабжения артериальной кровью. Повышенное давление и потеря эластичности приводят к повышенному риску разрыва артерии и, соответственно, геморрагического инсульта. Некоторые разрывы крупные и приводят к очевидной слабости, потере речи или даже быстрой смерти; но некоторые из них – маленькие и кумулятивные и приводят к постепенной потере мозговых функций в течение десятилетий (часто это называют сосудистой деменцией). Похожие процессы происходят и в других органах, так что повреждения накапливаются во всем организме.

Когда из-за старения стенок артерий формируются холестериновые бляшки, возникает еще несколько очевидных рисков. Со временем постепенное перекрытие артерии приведет к ишемии и отказу органа (часто – сердца), если только кровеносная система не найдет другой путь для кровоснабжения (это называется «неоваскуляризация»). Хуже того, бляшка может оторваться от стенки и отправиться в свободное плавание по артериям, перекрывая их. Когда тромб блокирует кровоснабжение жизненно важных сердечных мышц, результатом становится внезапный сердечный приступ, часто приводящий к немедленной смерти. Если тромб появляется в сонной артерии и направляется к мозгу, то кровоснабжения внезапно лишаются большие участки мозга. Результатом становится ишемический инсульт, сопровожда-

ющийся потерей функций мозга, часто – параличом половины тела или афазией (потерей речи). Тромбы могут вызвать смерть тканей практически в любом жизненно важном органе: почках, кишечнике, коленных суставах и т. д.

Большинству людей – и большинству врачей – кажется, что они понимают причины развития атеросклероза. В конце концов, у него действительно есть заметная связь с «большой четверкой» факторов риска – курением, гипертонией, высоким уровнем холестерина и диабетом, верно? На самом деле есть несколько очень интересных и поучительных исключений из этой корреляции. Некоторые люди могут быть подвержены всем этим факторам риска сразу, но у них при этом нет ни атеросклероза, ни сердечных приступов. С другой стороны, у некоторых людей нет вообще ни одного из этих факторов риска, но, тем не менее, они умирают от тяжелого атеросклероза или связанных с ним болезней. На самом деле практически у половины пациентов с сердечными приступами отсутствуют эти четыре «классических» фактора риска. Лучший пример – дети с прогерией. Подавляющее большинство этих детей не подвержены ни одному из этих факторов, тем не менее, почти у всех развивается тяжелый атеросклероз, и почти все они умирают либо от сердечного приступа, либо от инсульта. Как они вообще могут этим болеть, если факторов риска нет?

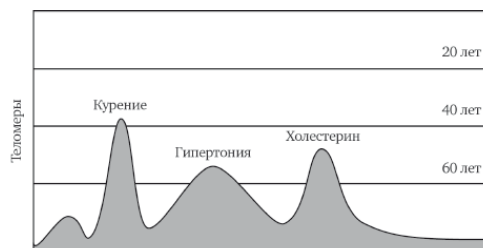
Что происходит?

Значит ли это, что мы неправильно понимаем болезнь? Нет, это просто значит, что мы понимаем ее не полностью. Например, простая модель – высокий холестерин напрямую вызывает отложения холестерина в артериях, – просто неверна. Очевидно, должны быть и другие пути, вызывающие атеросклероз. Болезнь, возможно, действительно коррелирует с классическими факторами риска, но на самом деле происходит что-то куда более сложное. Если это действительно так (а данные это подтверждают), то как же *на самом деле* работает атеросклероз, и почему мы по-прежнему считаем курение, гипертонию, повышенный холестерин и диабет реальными факторами риска?

Чтобы понять взаимосвязь между факторами риска и болезнью – например, между холестерином в крови и атеросклерозом, – нужно понять, как стареют клетки стенок артерий. Вернемся к метафоре, которую я уже применял во второй и пятой главах, – об озере, под поверхностью которого прячутся камни и отмели. Когда мы молоды, факторы риска находятся где-то далеко внизу под килем. В случае с курением, например, повреждения накапливаются десятками лет, но вместе с тем верно и то, что молодые клетки лучше справляются с ущербом, наносимым курением. Когда мы стареем, наши теломеры укорачиваются, клетки становятся менее функциональными и менее способными к саморемонту – и вот тогда уровень воды в озере падает, и мы начинаем наткаться на камни, над которыми когда-то спокойно проплывали. В 20 лет наши клетки могут отремонтировать большую часть повреждений, вызванных факторами риска, но по достижении среднего возраста мы уже не успеваем отремонтировать все повреждения, вызванные курением, гипертонией, повышенным холестерином или диабетом. Проще говоря, когда наши клетки стареют, повреждения в них начинают накапливаться. Поскольку клетки уже не работают нормально и не заменяются достаточно быстро, стенки артерий становятся жестче и легче разрываются, холестерин начинает накапливаться в бляшках – и артерия перестает работать.

Даже если взять все многочисленные известные нам факторы риска – диета, употребление алкоголя, ожирение, недостаток физических нагрузок, повышенный уровень гомоцистеина, уровень различных фракций холестерина, апополипротеин Е4, уровень эстрогена, уровень токоферола, протромбические мутации, повышенное количество моноцитов, С-реактивный белок, миелопероксидазу, стресс, инфекции полости рта, другие бактериальные или вирусные инфекции (герпес, цитомегаловирус, вирусы Коксаки), воспалительные биомаркеры в целом, – то мы обнаружим, что одних только факторов риска недостаточно,

чтобы объяснить старение артерий. Все эти факторы риска, безусловно, важны, но в молодости они часто «скрыты» благодаря длинным теломерам в клетках.



Когда мы молоды, клетки наших артерий успевают ремонтировать повреждения, нанесенные известными факторами риска. Однако когда клетки стареют из-за укорочения теломер, они уже не успевают достаточно быстро все отремонтировать и заменять умершие клетки. Подобно камням в озере, где падает уровень воды, повреждения клеток выходят ближе к «поверхности», и вероятность «сесть на мель» – получить инфаркт или инсульт – увеличивается.

Аналогия со скрытыми камнями особенно хороша в отношении детей с прогерией, у которых теломеры короткие от рождения. Клетки, выстилающие их артерии, уже стары и не могут справиться даже с минимальными факторами риска. Эти дети не курят, у них нет гипертонии, диабета или повышенного холестерина, но у них *есть* старые клетки – клетки, которые не могут поддерживать внеклеточный эластин и коллаген и восстанавливать умершие клетки. Так что в их кровеносных сосудах накапливается холестерин, даже когда его уровень в крови нормален, а потом быстро развивается атеросклероз.

Эти дети умирают от сердечных приступов и инсультов, часто еще до десятилетнего возраста, причем у них нет никаких характерных факторов риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. Коротких теломер оказывается вполне достаточно.

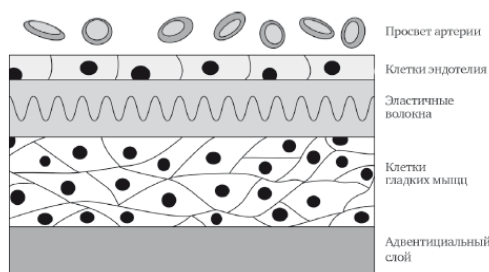
Противоположное явление, вполне возможно, происходит у людей, которые подвержены одному или нескольким факторам риска, но атеросклероз у них не развивается. У них либо длиннее теломеры, либо им повезло, и у них есть гены, которые смягчают нормальные факторы риска. Возвращаясь к нашей метафоре, можно сказать, что у таких людей подводные камни намного меньше, так что уровень воды должен упасть намного ниже, чтобы эти камни стали для них опасны.

Дети с прогерией с одной стороны и люди, с виду неуязвимые для факторов риска, – с другой приводят нас к следующему выводу: «Большая четверка» факторов риска (и все остальные известные нам факторы) – это реальные компоненты атеросклероза, но они не помогают нам получить хоть сколько-нибудь полное понимание болезни. Чтобы предотвратить атеросклероз, нужно знать не просто о нескольких факторах риска, но и о старении клеток в стенках артерий.

В артериальных стенках клетки располагаются в несколько слоев, хотя в небольших периферических артериях слои становятся все проще и короче, а стенки капилляров и вовсе состоят из одного слоя клеток. Внутренний слой клеток – эндотелий – повреждается со временем больше всего из-за прямого воздействия токсинов и других материалов, а также напряжения на разрыв. Берега реки подвергаются наибольшей эрозии там, где течение сильнее всего; точно так же и напряжение на разрыв в стенках артерии выше всего там, где артерии поворачивают или разделяются. В результате именно там клетки чаще всего гибнут и восстанавливаются. Результат предсказуем: эндотелиальные клетки теряют длину теломер и с возрастом начинают функционировать все хуже и хуже. Быстрое старение клеток из-за

токсиков и разрывной нагрузки наиболее выражены у людей с гипертонией или диабетом, а также у курильщиков. Во всех случаях наблюдается строгая корреляция между укорочением теломер и наступлением артериальной болезни: всякий раз, когда мы видим атеросклероз, мы видим и укороченные теломеры в эндотелиальных клетках.

Когда эндотелиальные клетки начинают отказывать, они уже не могут поддерживать внешние слои, в частности, эластичные и другие волокна. Кроме того, они слегка «отходят» от внешних слоев, открывая к ним доступ токсинам, вирусам и бактериям. Затем начинаются первые заметные изменения: моноциты и тромбоциты из крови прикрепляются к эндотелию – даже еще до изменений во внешних слоях. Чем хуже функционирует эндотелий, тем сильнее прогрессирует воспаление в субэндотелиальных слоях: в стенки артерий начинают попадать макрофаги и другие клетки иммунной системы. Затем происходит рубцевание, и на рубцовой ткани начинает накапливаться холестерин. Из-за этого стенка артерии разбухает и постепенно блокирует артерию полностью; кроме того, возникает риск, что рубец просто разорвется, и тромб унесет вниз по течению артерии.



Структура стенки артерии: эндотелиальные клетки составляют самый внутренний слой, окружающий просвет артерии – открытый канал, по которому течет кровь. Самый внешний слой называется адвентициальным.

Изменение динамики клеток, начинающееся со старения эндотелиальных клеток, объясняет большинство событий, происходящих при атеросклерозе, но нельзя недооценивать и эффект, производимый на волокнистые слои, лежащие между эндотелием и гладкими мышцами, а также на внешний слой – адвентициальные волокна. Стареющие клетки уже не могут с прежним качеством обновлять эластиновые и коллагеновые волокна, обеспечивающие гибкость и прочность артериальных стенок. У молодых людей большие кровеносные сосуды, например, аорта, эластичны, так что они растягиваются, когда сердце сокращается (систола), и принимают прежние размеры, когда сердце наполняется (диастола). Эта эластичность уравнивает резкие волны давления, облегчая хаотичную разрывную нагрузку, повреждающую эндотелиальные клетки. Когда артерии стареют, клетки эндотелия перестают обновлять эластиновые волокна, так что артериальное давление начинает наносить больший вред, а эндотелиальные клетки – быстрее гибнуть.

Стареющие клетки эндотелия меняются настолько сильно, что это не может не беспокоить. Они теряют митохондрии и демонстрируют общую деградацию. Эндотелиальная ткань становится тонкой, неоднородной, а иногда и вовсе отсутствует. Она больше не исполняет роль барьера, не регулирует артериальное давление и слабее реагирует на вазодилататоры (с помощью этих веществ организм контролирует давление). Давление не только становится более серьезной проблемой: из-за него еще и нарушается кровоснабжение периферийных органов.

Что любопытно, патологический каскад запускается не в промежуточных слоях – несмотря на то, что изменения в них более заметны. Патология в субэндотелиальных слоях – жировые полоски, кальцификация, накопление холестерина, воспаление, рост гладких

мышц, пенные клетки, – вторична, как по времени, так и по причинности, к возрастным изменениям в эндотелиальных клетках. Этот каскад, идущий от эндотелия к субэндотелиальным слоям, также объясняет, почему ни один фактор риска не является абсолютным. Любой процесс, который может ускорить старение эндотелиальных клеток, вызывает болезнь, но до тех пор, пока теломеры в клетках эндотелия не станут достаточно короткими, факторы риска вовсе не обязательно вызывают болезнь. Общепринятое понимание атеросклероза – не полное. Дело вовсе не в том, что «высокий холестерин (диабет, курение, гипертония) вызывает сердечные приступы». На самом деле процесс менее очевиден и более сложен.

С другой стороны, сама природа этого неочевидного и сложного каскада делает клиническое вмешательство предельно ясным и простым: *нужно удлинить теломеры*. Никакое терапевтическое вмешательство, даже с самыми благими намерениями, не сможет вылечить или предотвратить артериальную болезнь, если будет бороться лишь с факторами риска вроде гипертонии или курения. Но вот если мы сможем изменить длину теломер в клетках эндотелия, то сможем обойти – или даже игнорировать – большинство известных факторов риска, которые сейчас ассоциируются с артериальными болезнями. Важность клеточного старения по сравнению со всеми другими факторами риска заметна при артериальном стентировании, при котором для блокирования деления клеток используются антисмысловые нуклеотиды; после этого повторный стеноз (часто встречающийся в иных случаях) больше не наблюдается даже у людей, у которых в рационе много жира.

В лаборатории удалось показать, что восстановление длины теломер обращает вспять возрастные изменения в человеческих эндотелиальных клетках и тканях⁴¹. Многие исследования подтверждают физиологическую эффективность удлинения теломер, но клинические испытания пока не продвинулись до проверки похожих методов на живых пациентах. Впрочем, как мы увидим, даже клинические испытания указывают на вероятную эффективность, а сейчас у нас есть техническая возможность провести испытания на людях с использованием лекарственных средств, восстанавливающих теломеры в клетках эндотелия.

ЗАБОЛЕВАНИЯ СОСУДОВ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: артериальные изменения отмечаются уже у молодых людей, особенно подверженных нескольким факторам риска (например, курение табака и неправильная диета); у многих из них (особенно в развитых странах) артериальные болезни развиваются уже на третьем-четвертом десятке лет. У мужчин эти изменения ускоряются после 50 лет. У женщин болезнь может отставать лет на 10, хотя быстро «догоняет» мужские показатели после менопаузы. Первый сердечный приступ (особенно смертельный) чаще всего происходит в возрасте 55–65 лет, но после этого риск остается высоким, а смертность с возрастом лишь возрастает.

Убытки и затраты: коронарный атеросклероз – одна из самых дорогих причин госпитализации в США. Ежегодные затраты превышают 10 млрд долл. США⁴².

Диагноз: диагностика сердечного приступа может быть клинической, но если он не смертелен, то подтверждается изменениями в ЭКГ, уровнем ферментов в крови или радиологическими процедурами, например исследованием коронарных артерий. Собственно артериальную болезнь

⁴¹ Matsushita, S. et al. "eNOS Activity Is Reduced in Senescent Human Endothelial Cells." *Circulation Research* 89:120011:793-98.

⁴² <https://www.hcup-us.ahrq.gov/reports/statbriefs/sb168-Hospitat-Costs-Unitecl-States-2011.jsp>

обычно диагностируют с помощью радиологических процедур вроде ангиографии.

Лечение: в качестве профилактики рекомендуются физические нагрузки, диета и отказ от курения. При лечении используются лекарства и операции. Из лекарств сейчас чаще всего прописывают статины, хотя ниацин, так называемые антихолестериновые средства и другие препараты тоже играют роль. Хирургические методы включают в себя коронарное шунтирование и коронарное стентирование.

Самый перспективный из всех подходов к профилактике и лечению возрастных артериальных заболеваний – в том числе атеросклероза и инфаркта миокарда, – это удлинение теломер эндотелиальных клеток в артериях.

Болезнь сонной артерии

Сердечные приступы могут приводить нас в ужас, но инсульты наносят еще более страшный удар. Нам не только внезапно напоминают о нашей смертности: мы еще и обнаруживаем, что нас предал наш собственный мозг. С ограничениями, наложенными инфарктом, легче смириться, чем с теми, что появляются после инсульта. Мы теряем (частично или полностью) контроль над руками, ногами или речью. Мы уже не можем ходить, бегать, танцевать, писать, играть на музыкальных инструментах, готовить, даже сказать другим, о чем мы думаем. От нас просто без всякого предупреждения или жалости отрывают целые куски того, что делает человека человеком. Возможность того, что это может произойти, беспокоит нас, но вот реальность после того, как это произошло, выглядит жуткой.

По большей части болезнь сонной артерии – просто один из подвидов артериальной болезни, которую мы уже рассмотрели. Единственная разница – расположение и результат проблемы: осложнения связаны с мозгом. Самое частое – острое нарушение мозгового кровообращения (ОНМК), которое обычно называют просто инсультом.

Инсульты случаются, когда прерывается кровоснабжение мозга – либо из-за перекрытия тромбом (тромбоз), либо из-за артериального кровотечения (кровоизлияние). Тромботический инсульт можно вылечить, убрав препятствие из кровеносных сосудов, например, растворив тромб с помощью тромболитиков. А вот геморрагический инсульт очень редко поддается лечению, как медикаментозному, так и хирургическому.

Вне зависимости от конкретной причины и долгосрочного прогноза, конкретная проблема всегда одинакова: часть мозга не может исполнять свои функции, потому что лишается кровоснабжения. Среди острых симптомов – неспособность двигаться, говорить, понимать речь или видеть; иногда инсульт приводит к летальному исходу. Поскольку кровоснабжение двух полушарий мозга по большей части независимое, в большинстве случаев симптомы односторонние – например, невозможность двигать одной конечностью или паралич половины тела. Например, у пациентов, ранее не получавших травм, паралич руки и (или) ноги с одной стороны считается симптомом перенесенного острого инсульта, пока не доказано обратное.

Артериальная патология, вызывающая инсульт, точно такая же, как и при сердечных приступах. В обоих случаях заметны характерные изменения стенок артерий; в обоих случаях они вызваны возрастными изменениями клеток эндотелия, которые приводят к накоплению повреждений от известных факторов риска и неспособности клеток артериальной стенки достаточно быстро восстанавливать эти повреждения.

ИНСУЛЬТЫ: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: инсульт может случиться в любом возрасте, но примерно в 75 % случаев первый инсульт случается после 65 лет, а потом с каждым десятилетием распространенность увеличивается⁴³. Самый главный фактор риска, не считая собственно возраста, – гипертония; за ней следуют уже имевшиеся инсульты, диабет, повышенный холестерин, курение, фибрилляция предсердий, гиперкоагуляция и т. д.

Статистика⁴⁴: инсульт – третья по распространенности причина смерти в США и вторая – во всем мире. Еще это главная причина значительной долгосрочной инвалидности. Только в одних США убытки и затраты составляют более 40 млрд долл. США.

⁴³ <http://www.strokecenter.org/patients/about-stroke/stroke-statistics/>

⁴⁴ <http://www.strokecenter.org/patients/about-stroke/stroke-statistics/>

Диагноз: первоначальный диагноз – практически всегда клинический, хотя симптомы иногда могут быть ошибочно отнесены к другим причинам. Для диагностики практически всегда используется КТ или МРТ, чтобы определить, есть ли кровотечение (геморрагический инсульт), а также идентифицировать область, где инсульт произошел.

Лечение: для профилактики обычно рекомендуется снижать артериальное давление, бросить курить и контролировать фибрилляцию предсердий (или принимать антикоагуляционные средства). Тромботический инсульт можно сразу же лечить тромболитиками или (реже) с помощью нейрохирургии, но в целом эффективной терапии против инсультов не существует. После того, как нейроны умрут, их уже не восстановить; современный стандартный уход включает в себя контроль факторов риска (против будущих инсультов) и реабилитацию. Риск можно уменьшить, контролируя высокое давление, а также путем приема статинов.

Гипертония

Артериальное давление обычно растет с возрастом. Отчасти этот рост вызывается изменениями в стенках артерий, о которых мы говорили выше. Но еще он связан и со старением других систем тела: почек (играющих важную роль в регулировании давления), эндокринной системы, сердца, мозга и т. д. Результаты измерений артериального давления обычно состоят из двух компонентов: систолического и диастолического давления. Систолическое давление, давление в «высшей точке» цикла, когда сердце сокращается, менее стабильно в своей реакции на стресс, беспокойство, позу, в которой находится тело, и другие факторы. Диастолическое давление, давление в «нижней точке» цикла, когда сердце наполняется кровью, более стабильно и менее подвержено влиянию преходящих факторов.

Гипертония не только повышает нагрузку на сердце, но и увеличивает повреждение артерий и почек, а также риск аневризмы и разрыва артерии – в том числе геморрагического инсульта. Основные причины возрастной гипертонии пока остаются неизвестными, но все больше данных говорит о том, что ключевые ее факторы⁴⁵ – повышенный периферийный тонус из-за сужения маленьких артерий и уменьшения капиллярной сетки – являются результатом дисфункции эндотелиальных клеток, точно так же, как и артериальные болезни в целом. Старение клеток эндотелия в больших артериях приводит к тому, что в оставшейся части артериальной стенки накапливаются повреждения (атеросклероз). Из-за этого небольшие артерии сужаются и становятся менее пластичными. А самые маленькие сосуды, капилляры, и вовсе погибают.

Некоторые формы гипертонии связаны скорее не с возрастом, но большинство случаев клинической гипертонии тесно связано с возрастными изменениями.

Это, возможно, противоречит интуиции, но повышение артериального давления *не* повышает притока крови к органам. Более того, гипертония в крупных сосудах вызывает гипотонию – низкое давление – в органах, снабжающихся кровью. При гипертонии самые маленькие кровеносные сосуды либо сужаются (небольшие артерии), либо вообще отмирают (капилляры). В результате на приеме у врача диагностируется не только гипертония, но и ухудшение функции органов, которые не снабжаются кровью в нужном объеме – вне зависимости от того, под каким давлением кровь выходит из сердца.

Хуже того, в некоторых случаях реакция организма лишь усугубляет проблему. Почки, например, регулируют системное артериальное давление. Это часть их работы. Когда гипертония прогрессирует, перфузия в почечных клетках уменьшается, так что в попытке увеличить перфузию почки еще повышают давление. В долгосрочной перспективе, к сожалению, это лишь повышает скорость старения эндотелиальных клеток, устилающих артерии и капилляры. Небольшие артерии сужаются, капилляры гибнут, и артериальное давление снова поднимается. Это замкнутый круг, который в конечном итоге приводит к почечной недостаточности, сердечным приступам, инсультам, аневризмам и другим клиническим трагедиям.

⁴⁵ Fossel, M. *Cells, Aging, and Human Disease*. Oxford University Press, 2004 (see Chapter 9).

Сердечная недостаточность

Сердечная недостаточность – это набор из нескольких болезней с различными причинами. В большинстве случаев, впрочем, исход обусловлен самим по себе старением. Причиной сердечной недостаточности называют – вполне разумно – плохо работающее сердце. Саму болезнь часто разделяют на недостаточность левого и правого желудочка, хотя такая классификация слишком упрощенная. Левый желудочек сердца получает кровь от легких и перекачивает ее в остальное тело; правый желудочек получает кровь из тела и перекачивает в легкие. В обоих случаях одним из основных триггеров сердечной недостаточности является инфаркт миокарда, после которого поврежденный участок сердечной мышцы теряет способность эффективно перекачивать кровь.

Возможно, примерно 3/4 всех случаев сердечной недостаточности – в том числе вызванные инфарктом миокарда и гипертонией – могут быть объяснены клеточным старением, но некоторые другие причины – например, курение, вирусные инфекции, болезни сердечного клапана и др. – либо вообще никак не связаны с возрастом, либо их связь с проблемами, вызываемыми клеточным старением, косвенная.

Неврологические возрастные заболевания

Многие неврологические заболевания связаны с возрастом. Самое известное из них – болезнь Альцгеймера, хотя болезнь Паркинсона не уступает ей ни по известности, ни по пугающей репутации. Существует много других возрастных заболеваний и состояний – потеря моторной координации, плохое функционирование рефлексов, возрастные нарушения сна и т. д. Все эти заболевания и состояния довольно давно получили отдельные определения, и считалось, что и патология у них тоже разная, но сейчас многие постепенно приходят к мнению, что это спектр заболеваний, объединенных одной причиной. Болезнь Паркинсона проявляется в основном в черной субстанции, а болезнь Альцгеймера атакует много разных областей, но особенно часто – кору мозга и некоторые подкорковые структуры. Тем не менее, причина клеточной смерти у всех этих неврологических заболеваний может быть одна и та же, вне зависимости от того, какую именно часть мозга они поражают.

Тем не менее, мы обсудим болезнь Альцгеймера и болезнь Паркинсона отдельно.

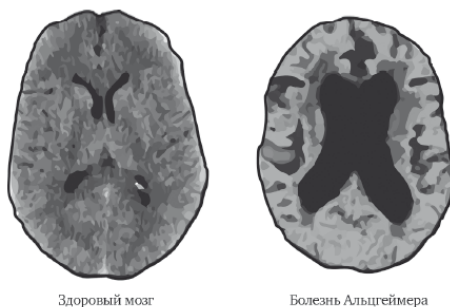
Болезнь Альцгеймера

*О, горы разума, вершины, скалы —
Лишь тот на них без страха мог смотреть,
Кого ни разу бездна не смущала
И страх пасть в пропасть с кручи, в круговерть,
Но утешенье нам приносит смерть,
Так день умрет, спустившись в сна провалы...*

Джерард Мэнли Хопкинс

Из всех возрастных заболеваний самое страшное – болезнь Альцгеймера.

Болезнь Альцгеймера, словно тать в ночи, крадет наши души, оставляя лишь пустую телесную оболочку. Многие возрастные заболевания убивают нас, другие – ограничивают способность что-то делать, но вот болезнь Альцгеймера ограничивает то, что мы способны понимать. Она отбирает у нас внутреннее «я», разум, интеллект, личную жизнь. Она лишает нас способности быть теми, кто мы есть. Во всей мировой литературе есть рассказы, в которых какая-то темная сила – дьявол, проклятье, черная магия, дементоры – отбирает душу и оставляет только голема, зомби, оболочку. Вот это ужасная реальность болезни Альцгеймера.



Здоровый мозг

Болезнь Альцгеймера

Поперечное сечение здорового мозга и мозга с продвинутой стадией болезни Альцгеймера.

Многие люди, которые кое-что знают о теломерах, но ничего – о человеческих патологиях, говорили, что клеточное старение не может вызывать болезнь Альцгеймера. Они наивно утверждают, что раз нейроны (обычно) не делятся, то их теломеры не могут укорачиваться с возрастом, так что клеточное старение никак не может быть связано с болезнью Альцгеймера. Но, как и в случае с болезнями сердца, этот аргумент не важен.

Нейроны, возможно, не стареют непосредственно, но они страдают из-за ярко выраженного старения клеток, обеспечивающих их выживание. Если конкретно, стареют клетки микроглии в мозге, так что «невинные наблюдатели» – нейроны – теряют поддержку. Результатом становится болезнь Альцгеймера.

Как и в случае с атеросклерозом, патология болезни Альцгеймера сложнее, чем считают некоторые ученые и врачи. В случае с болезнью Альцгеймера нужно понимать роль β -амилоидных и τ -белков. Да, эти два белка играют роль «злых подручных» болезни, но главную роль в трагедии играет микроглия, которая руководит атакой. Клетки микроглии подвергаются старению; именно она – критически важное действующее лицо в процессе гибели наших нейронов.

Глия составляет примерно 90 % всех клеток мозга, а микроглия – около 10 % всех глиальных клеток; микроглия чаще располагается вблизи нейронов. Микроглия – это «иммигранты» нервной системы. По сути они являются иммунными клетками, которые попадают в мозг из кровеносной системы и поселяются вокруг нейронов. Когда они активируются травмой или инфекцией, то превращаются в макрофагов, делятся и пытаются справиться с проблемами. При делении у них укорачиваются теломеры, и они со временем начинают хуже функционировать. Это первый шаг к развитию болезни Альцгеймера.

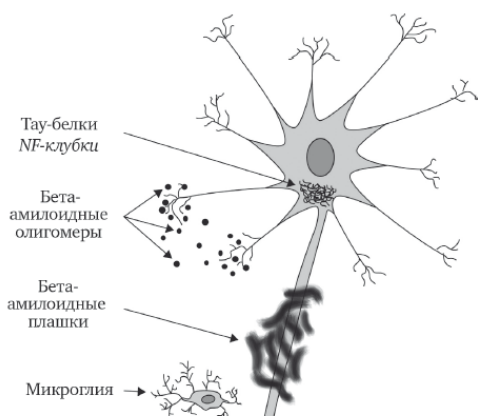
Стареющие клетки микроглии все менее эффективно поддерживают работу нейронов, особенно в плане того, что касается производства и обновления β -амилоидов. Микроглиальные клетки «активируются» и изменяют и свою форму, и функцию: они вызывают все более сильное воспаление, что лишь увеличивает повреждения. Микроглия и нейроны начинают производить короткие, поврежденные β -амилоидные молекулы – олигомеры, – которые ядовиты для нейронов. Чем сильнее повреждения, тем больше накапливаются β -амилоидные бляшки. Когда нейроны повреждаются слишком сильно, их τ -белки, жизненно необходимые для поддержки аксонов и, соответственно, переноса сигналов от одного нейрона к другому, начинают накапливаться в теле нейронов. В конце концов нейроны уже не могут справиться с повреждением от воспаления, отказа микроглиальных клеток, ядовитых β -амилоидов и τ -белковых клубков и умирают.

Болезнь Альцгеймера набирает ход. Сначала мы забываем ключи, потом – имена близких, потом – как за собой ухаживать.

Сейчас мы уже начинаем понимать, что старение артерий тоже играет определенную роль – или, по самой меньшей мере, коррелирует – с болезнью Альцгеймера, но большинство исследователей сосредоточилось исключительно на нервных клетках. Из-за этого узкого взгляда они игнорировали изменения не только в артериях, но и в других структурах, например, гемато-энцефалическом барьере и других типах клеток, в том числе глиальных. С исторической точки зрения узость взглядов вполне понятна. Самые очевидные гистологические изменения наблюдаются в нейронах коры мозга, а именно эти клетки мы в первую очередь ассоциируем с когнитивными способностями. Более того, мы уже давно знаем, что смерть нейронов сопровождается накоплением β -амилоидного белка вокруг нейронов и τ -белков внутри этих самых нейронов. К сожалению, это слишком очевидное наблюдение привело к многочисленным, затратным и неизменно провальным попыткам вылечить или предотвратить болезнь Альцгеймера, сражаясь только с двумя этими целями – β -амилоидами и τ -белками.

Результаты клинических испытаний оказались удручающе предсказуемыми: не работало ничего. Клинических испытаний провели более 1,6 тыс., еще 500 сейчас в процессе. Некоторые средства обеспечивают лишь симптоматическое облегчение (например, ингибиторы ацетилхолинэстеразы), но разработчики многих других ставили перед собой задачу изменить все течение патологии – замедлить или даже остановить развитие болезни.

Но многие борются только с двумя целями: β -амилоидами и τ -белками. Это вполне понятно: и β -амилоиды, и τ -белки являются заметной частью микроскопической патологии, так что вполне понятно, почему их считают ее главной причиной; β -амилоиды, например, важны для работы нейронов, но известно, что в больших количествах они токсичны – например, в таких, которые окружают умирающие нейроны в мозге пациента с болезнью Альцгеймера, τ -белки тоже являются жизненно необходимой частью внутренней структуры нейронов, но те же самые умирающие нейроны в мозге пациента с болезнью Альцгеймера наполнены клубками из τ -белков. Следовательно, оба этих белка – вполне разумные кандидаты для терапевтических испытаний. К сожалению, нет никаких доказательств того, что прямое медицинское вмешательство, нацеленное на какой-либо из этих белков, приносит хоть какую-то пользу, а это говорит о том, что и β -амилоиды, и τ -белки – всего лишь *результат* заболевания, а не причина.



Давайте рассмотрим аналогию.

При диабете, когда организм вырабатывает недостаточно собственного инсулина, ваши клетки не могут эффективно усваивать сахар из крови, так что уровень сахара в крови растет. В то же время, поскольку ваши клетки не могут получить энергию из сахара, они вместо этого начинают сжигать жиры. К сожалению, из-за этого клетки начинают вырабатывать нежелательные кислоты, которые затем выпускают в кровь. В середине XX века хорошим средством ухода считалось уменьшение опасного уровня кислот в крови с помощью внутривенных инъекций гидрокарбоната натрия. Это не только не помогало, но и вызывало дополнительные осложнения. Проблема заключалась в том, что повышенный уровень кислот в крови был не *причиной*, а следствием. Лишь позже мы наконец поняли, что лечить нужно не повышенный уровень кислот, а повышенный сахар в крови. После того, как мы справились с повышенным сахаром, избыточная кислотность ушла сама собой.

В случае с болезнью Альцгеймера мы по-прежнему очень прилежно работаем и тратим огромнейшие деньги, чтобы лечить следствия, а не причины, несмотря на хронические, раздражающие провалы всех наших усилий. Мы смотрим «вниз по течению» на последствия, а не «вверх по течению» на причину. На самом же деле болезнь Альцгеймера, как и многие другие заболевания, – не просто «ручей» патологии, а целый каскад, но, тем не менее, мы по-

прежнему пытаемся найти средство профилактики или лечения, стоя у подножия водопада, а не у истока реки.

Так что на самом деле нужно задавать другие вопросы. Где находится исток? Что происходит в каскаде патологий, которые приводят к болезни, и, что важнее, где находится самая важная точка вмешательства?

Что именно вызывает повреждение микроглии и активацию микроглиальных клеток, пока неизвестно. Есть определенные намеки, что различные вирусы или другие микробы вызывают в этих клетках инфекцию, в микроглии запускается иммунный ответ, и микроглиальные клетки начинают делиться. Поскольку микроглиальные клетки – это часть иммунной системы, похожая на макрофаги, которые вторгаются в субэндотелиальные слои коронарных артерий, предположение может оказаться вполне верным. Кроме того, несколько исследований показали, что различные антибиотики, в том числе доксициклин, могут помочь замедлить или предотвратить развитие болезни Альцгеймера, хотя ни в одном из этих исследований не удалось продемонстрировать заметной пользы, да и особого признания они не получили. Короче говоря, микробная инфекция – это одна из возможных причин, но в действительности мы пока просто не знаем, почему микроглиальные клетки активируются и делятся.

Зато мы знаем, что активация микроглии предшествует всем остальным очевидным патологиям, а еще, что теломеры микроглиальных клеток укорачиваются до появления β -амилоидных отложений или накопления τ -белков в пораженных нейронах. Если проще, всем другим изменениям предшествует укорочение теломер и клеточное старение. Это, конечно, говорит о том, что старение микроглиальных клеток находится «вверх по течению» в патологическом каскаде по сравнению с β -амилоидами и τ -белками, но можно поспорить по другому вопросу: обязательно ли клеточное старение для развития патологии (т. е. «вызывает» ее), или же оно является всего лишь еще одним побочным эффектом основной патологии. Этот взгляд вполне разумен, но логика проблемы говорит о том, что клеточное старение – важнейшая часть болезни и что старение микроглиальных клеток «вызывает» болезнь Альцгеймера. Все данные отлично сходятся, а какие-либо опровергающие данные отсутствуют. Дело не только в том, что похожий базовый каскад патологий происходит и в других системах, например в коронарных артериях, но и в том, что изменения в функциях клеток дают ясное объяснение того, почему при этой болезни происходит накопление β - α -амилоидов и τ -белков.

Самым важным вопросом остается медицинское вмешательство. Если предположить, что старение микроглиальных клеток запускает каскад патологий, приводящих к болезни Альцгеймера, на каком этапе мы должны вмешиваться? Можно попытаться предотвратить гипотетическую инфекцию, но мы даже не знаем, есть ли вообще эта инфекция, не говоря уж о том, как ее надежно диагностировать и вылечить. Более того, после того, как микроглиальные клетки постареют и станут работать хуже, никакие антибиотики (даже если они и помогли бы до этого) не остановят патологию. К тому же, после того, что функционирование этих клеток нарушится, трудно представить, как и где найти терапевтическое средство, которое уберет отложения β -амилоидов и растворит τ -белковые клубки, при этом оставив нейроны здоровыми и сохранив достаточное количество β -амилоидов и τ -белков в нужных местах, чтобы нейроны получили все необходимое. Где бы мы ни пытались вмешаться, микроглия остается перекрестком, в котором накапливаются все повреждения. Самая многообещающая цель для лечения болезни Альцгеймера – микроглия, а самая эффективная цель внутри микроглии – теломеры, которые контролируют старение клетки.

Если мы хотим предотвратить и вылечить болезнь Альцгеймера, то самой эффективной точкой вмешательства должны стать микроглиальные теломеры. Микроглиальные тело-

меры – это узкое место в потоке патологии, то самое место, в котором можно предотвратить возникающий внизу по течению каскад, который уничтожает человеческие жизни.

Если мы хотим вылечить болезнь Альцгеймера, нам нужно удлинять теломеры.

БОЛЕЗНЬ АЛЬЦГЕЙМЕРА: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: вероятнее всего, болезнь Альцгеймера начинается еще до старости, но диагностируется лишь через 10–20 лет после начала малозаметных изменений в клетках мозга. Патологическая лавина начинается задолго до того, как первые нейроны умирают, а мы впервые замечаем когнитивные проблемы. Первоначальный клинический диагноз обычно ставится после 65 лет, хотя бывают и формы с более ранним началом. Болезнь Альцгеймера неизлечима и смертельна. Среднее время между постановкой диагноза и смертью составляет 7 лет⁴⁶. В небольшом числе случаев, особенно в семейной болезни Альцгеймера, определенную роль играет генетический риск, но самый значительный фактор – все-таки сам по себе возраст. Время от времени делаются довольно диковатые заявления – например, болезнь Альцгеймера вызывается алюминиевой посудой или зерновой пищей, – но они практически никогда не подкрепляются статистическими данными.

Статистика: оценки распространенности болезни Альцгеймера разные. Диагноз чаще ставится в развитых странах – благодаря более развитым системам здравоохранения и тому, что люди чаще доживают до возраста, в котором она развивается. Но даже в развитых странах статистика заболеваемости болезнью Альцгеймера недооценивается, потому что часто указывается лишь самая непосредственная причина смерти (например, пневмония). По современным оценкам, болезнью Альцгеймера болеют не менее 25 млн человек, причем заболеваемость растет вместе со средней продолжительностью жизни.

Убытки и затраты: говорят, что болезнь Альцгеймера – самое дорогое возрастное заболевание, в основном из-за необходимости постоянного ухода и лекарств. В США расходы на эту болезнь составляют более 100 млрд долл. США и продолжают расти⁴⁷.

Генетический риск: ген, имеющий наибольшую связь с болезнью Альцгеймера, кодирует белок апоЕ4, одну из трех форм аполипопротеина, часто встречающегося в астроцитах и нейронах мозга. АпоЕ играет важную роль в транспортировке липидов (липопротеинов, жирорастворимых витаминов и холестерина) и реакции на нейронную травму. У большинства людей есть гены, кодирующие более «невинные» формы белка, апоЕ2 (7 % населения) и апоЕ3 (79 %), но вот у людей с геном, кодирующим апоЕ4 (14 %), болезнь Альцгеймера развивается с большей вероятностью и в более раннем возрасте⁴⁸. У людей с двумя копиями гена апоЕ4 риск развития болезни Альцгеймера намного больше (в 10–30 раз⁴⁹), чем у тех, у кого гена апоЕ4 нет вообще. Тем не менее, наличие гена апоЕ4 не приводит к автоматическому развитию болезни Альцгеймера и уж точно не «вызывает» ее, хотя и увеличивает риск.

⁴⁶ http://www.sevencou nties.org/poc/view_doc.php?type=doc&id=3249&cn=231

⁴⁷ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9543467?dopt=Abstract>

⁴⁸ <http://jama.jamanetwork.com/articte.aspx?articteid=418446>

⁴⁹ <http://www.atzdiscovery.org/cognitive-vitality/what-apoe-means-for-your-heatth>

Диагноз: первичный диагноз обычно ставится на основе жалоб самого пациента или членов его семьи на потерю памяти, интеллектуальных функций или других изменений поведения. До недавнего времени диагноз в основном основывался на клиническом обследовании и нейропсихологическом тестировании, но сейчас врачи начинают применять более объективные методики – например, лабораторные анализы крови или спинномозговой жидкости, радиологические исследования или офтальмологические исследования малозаметных биохимических изменений в хрусталике или сетчатке.

Лечение: в настоящее время не существует никаких способов предотвратить, вылечить или обратить вспять болезнь и даже остановить или более-менее надежно замедлить ее прогресс. Применялось (а иногда и до сих пор применяется) немало лекарств, которые не приносят никакой заметной пользы – просто потому, что врачи и пациенты в отчаянии пытаются попробовать хоть какой-нибудь метод. Среди применяемых средств – ингибиторы ацетилхолинэстеразы, NMDA-антагонисты, эстрогены, моноклональные антитела к β -амилоидам, жирные кислоты омега-3 и т. д. Некоторые исследования говорят, что витамин E (токоферол) замедляет первичное развитие болезни Альцгеймера, хотя данные других исследований ставят эти результаты под сомнение.

Болезнь Паркинсона

Болезнь Альцгеймера поражает в основном когнитивные функции, а вот болезнь Паркинсона – моторные. Отличительные черты болезни Паркинсона – изменение походки, тремор, ригидность мышц, неспособность начать идти или остановиться, движения пальцев, напоминающие счет монет, языковые проблемы, – объединяются в одну большую группу: проблемы с контролем и координацией мышц.

Тем не менее, между болезнями Альцгеймера и Паркинсона столько общего, что их можно практически считать одной болезнью, проявляющейся в двух разных участках мозга. Болезнь Альцгеймера поражает нейроны коры мозга, особенно переднего мозга, а болезнь Паркинсона – нейроны среднего мозга, особенно черной субстанции и хвостатого ядра. Да, это, конечно, очень сильное упрощение, потому что болезнь Паркинсона может действовать на самые разные отделы мозга, а клинические эффекты обоих заболеваний – особенно слабоумие и другие когнитивные изменения – довольно значительно пересекаются. Одно из ключевых различий состоит в том, что вместо отложений β -амилоидов и τ -белков, как при болезни Альцгеймера, мы видим отложения другого белка – α -синуклеина.

Тем не менее, фундаментальное сходство между болезнями Альцгеймера и Паркинсона весьма заметно. В обоих случаях глиальные клетки – особенно микроглиальные – играют важную роль в первоначальном развитии и прогрессе патологии. При болезни Паркинсона еще в самом начале отказывают микроглиальные клетки, а также астроциты – звездообразные глиальные клетки. У пациентов с болезнью Альцгеймера в нейронах накапливаются τ -белки, образуя клубочки, а при болезни Паркинсона в нейронах накапливаются α -синуклеины, формируя тельца Леви. В обоих случаях патология – как видно по накоплению этих ненормальных белков – начинается в нейронах, когда пациент еще с клинической точки зрения здоров. К тому времени, как развиваются клинические симптомы, нейроны уже начинают массово умирать. Когда патология ограничена нейронами среднего мозга – черной субстанцией, – то симптомы в основном моторные; когда она поражает и кору мозга, то симптомы уже включают в себя деменцию и напоминают болезнь Альцгеймера. Как и

при болезни Альцгеймера, дисфункция глиальных клеток при болезни Паркинсона приводит к гибели нейронов, которые должны были поддерживаться этими клетками. В них наблюдается отказ внутриклеточных органелл, в том числе митохондрий, рибосом, протеасом и лизосом. Нейронам требуются здоровые глиальные клетки, и когда они перестают работать, нейроны вскоре гибнут.

БОЛЕЗНЬ ПАРКИНСОНА: КРАТКАЯ СПРАВКА

Возраст: болезнь Паркинсона явно связана с возрастом – средний возраст начала развития заболевания равняется 60 годам, – но она *может* проявиться практически в любом возрасте. Среди факторов риска – отравление некоторыми пестицидами и гербицидами, а также травмы головы. Болезнь Паркинсона обычно не считается генетической, но генетическая предрасположенность к ней существует, и обусловлена она самыми разными мутациями. Тем не менее, заболеваемость и тяжесть протекания болезни Паркинсона растет с возрастом.

Убытки и затраты: как и обычно, точные убытки подсчитать трудно, но в США, по некоторым оценкам, болезнь обходится ежегодно примерно в 25 млрд долл. США⁵⁰, в основном из-за затрат на уход за пациентами и других косвенных издержек. **Диагноз:** в большинстве случаев болезнь Паркинсона первоначально диагностируется по истории болезни и результатам обследования. Подтвердить ее как-то иначе, как при вскрытии, не представляется возможным, потому что нет никаких простых лабораторных или радиологических анализов, которые могут это сделать, хотя с помощью анализов можно исключить некоторые альтернативы. Таким образом, клинические испытания часто считаются полезными и с терапевтической, и с диагностической точки зрения.

Лечение: поскольку главный отличительный признак болезни – потеря нейронов, производящих дофамин, большинство методов лечения связаны с лекарствами вроде леводопы и дофаминовых агонистов, которые усиливают дофаминергический эффект тех дофаминовых нейронов, что еще функционируют. К сожалению, у этих лекарств наблюдаются сильные побочные эффекты, к тому же они теряют эффективность, когда болезнь прогрессирует, и все больше дофаминовых нейронов умирает. В этих случаях все чаще рассматриваются нейрохирургические операции, стимуляция мозга или трансплантация клеток (например, стволовых клеток).

⁵⁰ http://www.pdf.org/en/parkinson_statistics.

Глава седьмая

Как замедлить старение



В ожидании теломеразы

Возможно, завтра мы обратим старение вспять, но что мы можем сделать уже сегодня?

Помощь уже в пути – в форме тех видов терапии, которые удлинят теломеры, восстановят экспрессию генов и таким образом остановят и обратят вспять старение – тех видов терапии, которые, вполне возможно, станут нам доступны уже в следующее десятилетие.

Но уже сейчас, когда вы читаете эти строки, ваши родители, родственники или друзья, возможно, страдают от возрастных заболеваний, и даже если у вас самих подобных проблем нет, в будущем вас определенно ждет такая перспектива. Даже если мы *сможем* найти метод лечения или профилактики болезни Альцгеймера или сердечно-сосудистых заболеваний уже в ближайшие несколько лет, как нам прожить эти несколько лет? Может быть, иначе есть? Есть ли на рынке какие-нибудь продукты, которые защищают от болезней? Что мы можем сделать для себя и своих близких прямо сейчас?

Я врач, поэтому задаю предельно практичные, а не чисто научные вопросы. Для меня, когда речь заходит о возрастных болезнях и даже самом процессе старения, главный вопрос состоит не в том, как именно работает процесс старения, а в том, *что можно с этим сделать*. Я хочу знать *самую эффективную точку для медицинского вмешательства*. А пока мы не узнали с помощью клинических испытаний на людях, что это за точка, мы все должны знать, что можно сделать прямо сейчас.

Столетие назад такие же вопросы задавали о полиомиелите: «Если полиомиелит неизлечим, что можно сделать, чтобы его вылечить?» Сейчас мы беспокоимся из-за убытков от болезни Альцгеймера, а век назад семьи точно так же беспокоились из-за убытков от ухода за парализованными детьми. Пока Джонас Солк не разработал первую эффективную вакцину от полиомиелита, никакой защиты от болезни не было. Пока мы не найдем эффективный способ удлинять теломеры, у нас нет никакой защиты от старения. Но это не значит, что мы не можем улучшить наши шансы выжить и остаться здоровыми, придерживаясь более разумного образа жизни. Не существует никакой диеты или режима тренировок, которые могли бы остановить или обратить вспять старение, но диета и тренировки по-прежнему остаются лучшими способами оптимизировать здоровье – и замедлить наступление возрастных заболеваний до тех пор, пока нам не удастся удлинить теломеры.

Когда меня спрашивают, что можно сделать уже сейчас, чтобы прожить дольше, я отвечаю: «Внимательнее слушайте, что советует вам врач или бабушка. Если что, бабушкины советы дешевле». Впрочем, все мы люди, и очень немногие из нас следуют советам медиков, даже самым разумным, пока здоровы. Если вы хотите прожить долгую, здоровую жизнь, хорошо ешьте, регулярно делайте зарядку, пристегивайте ремни в машине и старайтесь не злить окружающих людей (никогда не знаешь, кто из них вооружен). К сожалению, люди предпочитают более «сексуальные» советы, связанные с какой-нибудь очередной чудесной едой или новым удивительным видом тренировок. Но правда очень проста: никаких конкретных диет, тренировок, пищевых добавок или форм медитации, которые могут остано-

вить старение, не существует, но есть очень много разных и реально действующих способов сохранить здоровье дольше.

Наконец, на рынке уже появился по меньшей мере один продукт – активатор теломеразы, – который может на самом деле в определенной степени остановить или обратить вспять процесс старения, пока мы ищем более эффективные способы вмешательства.

Осторожнее: кому выгодно?

Советов по поводу диеты и тренировок сейчас в избытке, и большинство из них неверны.

У плохих советов есть хорошо заметные отличительные черты. Например, чем больше денег совет приносит тому, кто его дает, и чем больше денег затрачено на его рекламу, тем меньше вероятность того, что он станет полезен. Действительно полезные вещи обычно легко доступны, недороги и скучны. Маркетологи знают, что для того чтобы избавиться от перхоти, нужно мыть голову уксусом, но продать уксус по доллару за унцию невозможно. Если вы хотите заработать такие деньги, то продавать надо шампунь со «специальной формулой».

То же самое верно и о волнах моды и капризов, управляющих большей частью человеческого поведения, особенно когда речь заходит о пищевых добавках и диетах. Гораздо легче продать новые, *улучшенные* или *революционные* продукты, чем такие, которые использовались уже век назад (даже если они на самом деле эффективны и полезны для здоровья). Особенно это верно, как знает любой автор или издатель диетических или поваренных книг, в области кулинарии и диет. Для рекламы диеты не особенно даже важно, чтобы она работала: главное – чтобы она была новой, привлекательно-необычной и использовалась кем-нибудь знаменитым и привлекательным.

Овсянку продать сложно, а новинку – легко.

С другой стороны, если вы заявляете, что ваш продукт ведет родословную из древней истории, или, еще лучше, из доисторических времен – например, злак, которым питались еще инки в Перу до того, как Колумб открыл Америку, или палеолитическая диета, – то несколько лет вам удастся успешно им торговать. После этого люди естественным образом перейдут на другие «натуральные» диеты или злаки. Мы считаем, что в отдаленном прошлом вся пища была здоровой, а жизнь «простой», и стремимся к тому, что французский философ XVIII века Жан-Жак Руссо называл «естественным состоянием» – несмотря на то, что такой взгляд ложен и даже опасен. Далекое прошлое не является сколько-нибудь надежным «советчиком» по поводу оптимизации здоровья. Если вы в этом сомневаетесь, задайте вопрос:

1 тыс. или 10 тыс. лет назад продолжительность жизни была больше или меньше, чем сейчас? Вместо Руссо попробуйте лучше вспомнить описание человеческой жизни в «естественном состоянии», данной Томасом Гоббсом: «...бедна, беспросветна, тупа и *кратковременна*» (курсив мой). С таким же успехом можно при строительстве домов брать пример с пещер: они живописны и, несомненно, являются частью наследия человеческого рода, но они вряд ли обеспечат нам тепло, сухость и безопасность от болезней.

Правда состоит в том, что ни древнее происхождение, ни новейшее «открытие», ни высокая цена, ни низкая не являются надежными гарантиями эффективности или надежности. Нужно с одинаковым скептицизмом относиться и к рекламе дорогих продуктов, и к заявлениям, где используются слова вроде «естественный», «простой» или «экологически чистый». Правду распознать бывает довольно трудно, и никаких надежных способов, кроме личного опыта, не существует. Как и в науке, лучше всего руководствоваться одним советом: если вы хотите узнать правду, то догадки ничего не стоят, логика часто бывает полезной, но конкретные данные – лучший вариант.

Стоит обратить внимание и на еще одну оговорку.

За десятки лет работы врачом и профессором медицины я дал множество медицинских рекомендаций, но всегда спокойно относился к тому, что не все будут им следовать. Меня это не беспокоит. Моя работа – не заставить людей изменить свою жизнь, а дать наилучший

возможный совет, а потом позволить пациентам самим решать. Это верно по двум причинам. Во-первых, у нас свободная страна (более или менее), так что люди имеют право сами принимать решения, а не позволять *кому-либо* другому (даже врачу) принимать решения за них. Во-вторых, всегда есть вероятность, что я ошибаюсь. Существует прискорбная тенденция: люди, которые правы *в большинстве случаев*, часто считают, что правы *всегда*. Это не так: никто не бывает прав всегда.

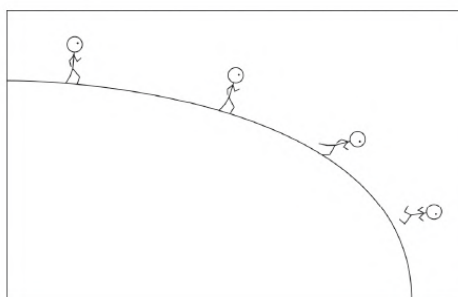
Любым советам нужно следовать с осторожностью – особенно в плане диеты.

Я никогда не требовал от своих пациентов что-либо делать, например бросать курить. Давал ли я советы? Да. Объяснял ли риски? Да. Спрашивал, могу ли чем-то помочь в деле отказа от курения? Конечно. Но я никогда не считал, что у людей моей профессии есть право (не говоря уже о долге) контролировать жизнь и решения тех, кто обращается к ним за помощью. Моя работа, можно сказать, заключается в том, чтобы курильщики почувствовали стыд. Если говорить о медицинском уходе и выборе пути к оптимальному здоровью, то врач должен быть советником, а не диктатором. Я могу показать дорогу, дать вам карту и пожелать удачи, но выбор остается за вами.

Эта глава начнется с вариантов, в которых теломеры вообще никак не участвуют. Затем мы рассмотрим несколько вариантов, которые либо влияют на теломеры и процесс старения, либо *якобы* на них влияют. Закончится глава рассказом о последних лабораторных достижениях: мы узнаем, как можно избегать заболеваний и стать здоровыми.

Скала

Представьте скалу, у которой склон имеет форму параболы: вершина довольно ровная, затем склон становится все круче и в конце концов – почти вертикальным. Мы начинаем жизнь далеко от края скалы, молодыми и здоровыми. Идти легко, склон почти ровный. Затем склон становится чуть круче, и мы видим первые признаки старения. Потом мы идем дальше, и нам становится все труднее остановиться или хотя бы удержаться на ногах. Избегать болезней, как нам кажется, уже практически невозможно, а на поддержание здоровья приходится тратить большую часть времени, внимания и усилий. В конце концов склон становится таким крутым, что мы спотыкаемся и падаем в пропасть смерти.



Метафора не то чтобы очень приятная, но у нее есть свои достоинства.

Во-первых, полезно будет задуматься о том, что получится, если мы попытаемся вести более здоровый образ жизни. Например, как изменится наше медленное движение по склону, если мы полностью изменим рацион питания и будем придерживаться абсолютно лучшей, самой здоровой и оптимизированной специально под нас диеты? Что произойдет: мы замедлим движение, остановимся, или, может быть, даже поднимемся обратно по склону? Сможем ли мы замедлить, остановить или даже обратить вспять прогресс старения и болезней?

В течение всей человеческой истории еще никому не удалось даже остановить движение по этому склону, не говоря уж о том, чтобы обратить его вспять. С исторической точки зрения видно, что мы, конечно, можем вылечить любые болезни (лучший пример – инфекции), но нам никогда еще не удавалось хоть как-то остановить старение, не говоря уж о том, чтобы обратить вспять процесс старения и болезни, вызываемые возрастом. С другой стороны, существует немало методов, которые вполне реально *замедляют прогресс* старения.

Показатели	Факторы, влияние которых доказано
Ускоряют старение	Ультрафиолетовое излучение, курение, стресс, инфекции, болезни, плохие гены
Замедляют старение	Здоровая диета, тренировки, иммунизация, хорошие гены
Останавливают старение	Ничего
Обращают старение вспять	Ничего

Если говорить точнее, *примерно до 2006 года* не было известно ни единого фактора, о котором хотя бы с огромной натяжкой можно было бы сказать, что он останавливает или обращает вспять старение у людей. Впрочем, нам известно множество разных факторов, которые либо ускоряют, либо замедляют процесс старения. Если конкретно, нам известно,

что определенный образ жизни или факторы риска (например, гены) ускоряют старение – что подтверждается медицинскими обследованиями, лабораторными анализами, сроками начала и прогрессом заболеваний и средним возрастом смерти. С другой стороны, есть и такие факторы (в том числе образ жизни и гены), которые вызывают противоположный эффект: замедляют скорость старения и прогресс возрастных заболеваний.

Ни один из этих факторов – и ускоряющих, и замедляющих старение, – не является сколько-нибудь выдающимся или, наоборот, мало известным. Напротив, практически без исключений, это простейшие, очевидные, нестареющие медицинские советы. Грубо говоря, это такие советы, которые практически всегда дает вам бабушка или семейный врач, – и которые мы либо игнорируем полностью, либо, в лучшем случае, следуем частично. Справедливости ради, советы часто бывают трудными, неприятными, болезненными, неудобоваримыми или требуют слишком больших затрат времени. Среди этих советов – есть овощи, избегать калорийной, сладкой и жирной (да и вообще любой сколько-нибудь вкусной) пищи, регулярно делать зарядку, пользоваться кремом для загара, мыть руки и так далее – в нашей культуре много таких благонамеренных традиционных мудростей. Мы все знаем, что нужно делать, но очень немногие из нас действительно что-то делают.

Мы не можем изменить унаследованных генов, но есть множество способов – причем довольно распространенных – замедлить или ускорить процесс старения и увеличить или уменьшить риск возрастных заболеваний. В широком смысле в замедлении или ускорении процесса старения нет ничего оригинального или необычного.

Но вот остановка или обращение вспять старения – это *совсем* другой разговор.

Несмотря на целый арсенал коммерческих продуктов, якобы останавливающих или обращающих вспять старение, ни одному из них на самом деле этого не удалось. Сейчас нам продают еду, пищевые добавки, диеты, кремы и режимы тренировок, которые якобы останавливают или обращают вспять старение, но все эти заявления недостойны доверия. Ни одно из них – *вообще ни одно* – не является правдивым. На рынке нет ничего, что останавливало бы старение или обращало его вспять.

Точнее, почти ничего.

Оказывается, существует по крайней мере два исключения из моей решительной денонсации антивозрастных продуктов. Они, конечно, небольшие, но рассмотреть их стоит. Самое важное исключение – теломеразные активаторы, которые мы обсудим позже. Эти продукты имеют дело с самой сутью проблемы и заслуживают очень тщательного рассмотрения.

Второе исключение: существуют кое-какие интересные данные, которые говорят, что некоторые методы медицинского вмешательства обращают вспять не сам процесс старения, а некоторые ключевые патологии, встречающиеся при возрастных заболеваниях, например атеросклероз. Такие методы обычно не называют «обращающими старение вспять», да они этого и не делают, но если они помогут нам избежать связанных со старением *болезней*, то, несомненно, представляют определенную ценность. Эти методы лечения, возможно, исправляют некоторые очевидные изменения, которые мы видим в процессе развития возрастных артериальных заболеваний. Они, конечно, не восстанавливают длину теломер и не делают клетки эндотелия функциональнее и эффективнее (и моложе), но если они останавливают процесс заболевания и уменьшают риск смерти, то это уже значительное достижение.

Подавляющее большинство методов лечения (и коммерческих продуктов), о которых говорят, что они обращают старение вспять, на самом деле работают (если работают), не останавливая процесс старения, а просто замедляя скорость старения и развития заболеваний. Как ни странно, подобные медицинские вмешательства уменьшают скорость старения примерно до такой, которая наблюдается у людей, ведущих здоровый образ жизни. У многих

пациентов – в частности, курящих, с гипертонией, повышенной глюкозой и холестерином – скорость старения намного выше, чем у тех, кто не подвергается воздействию этих факторов риска. Если мы сможем замедлить или даже остановить атеросклероз и уменьшить смертность, то мы сможем и улучшить жизнь пациентов – пусть даже и не обратим их старение вспять.

Например, если у некурящих людей первый сердечный приступ случается в среднем в 70 лет, а у курящих – в 50, то будет разумным надеяться, что если мы бросим курить, то сможем отложить сердечный приступ на несколько лет – наш риск станет ближе к риску некурящего. Если вы бросите курить, то не вылечите и не предотвратите болезнь, а всего лишь снизите риск до нормального уровня. Это не лечение, но даже это лучше, чем ничего.

Четко понимая, что большинство известных методов не останавливают процесс старения, и лучшее, что мы можем сделать, – замедлить его и уменьшить риск заболевания, давайте посмотрим, что мы можем сделать.

Диета

*Никакую болезнь, которую можно вылечить диетой, не нужно лечить каким-либо иным способом.
Маймонид, врач, живший в XII веке*

Старение невозможно предотвратить диетой, но с помощью нездорового рациона можно сделать себя старым и больным раньше времени.

Во-первых, не существует никаких чудесных блюд (а также чудесных диет, чудесных тренировок или чудесных медитаций), которые сделают вас молодыми. Никаких. Если говорить о диетах, то не существует никаких «хороших» и «плохих» блюд, хотя я обычно не реже чем раз в неделю слышу подобные фразы о каких-либо продуктах или пищевых добавках – например, «киноа полезно для вас» или «сахар для вас вреден».

На самом деле все зависит от контекста.

В настоящее время многие считают сахара вредными, но такой ярлык – это слишком большое упрощение. Без сахаров вы очень быстро умрете. Большинство ваших клеток использует сахара в качестве основного источника питания; некоторые используют в качестве альтернативных источников энергии жиры или белки, но другие не умеют даже такого. Когда вы едите углеводную пищу – например, макароны, – организм разлагает эти сложные молекулы на простые сахара. Вопрос состоит не в том, нужен ли вам источник сахара в пище – нужен, это даже не обсуждается, – а в том, сколько именно вам его нужно и в какой форме. Сахара нужны для производства цепочек нуклеиновых кислот в ДНК и других сложных молекул, жизненно необходимых организму. Сахара нужны вам для энергии. Пищевые углеводы после разложения на простые сахара – полезный и легкодоступный источник метаболической энергии; они, по сути, являются универсальной клеточной энергетической «валютой».

Когда-то было время, когда сахар считался вершиной всего «полезного» в человеческом рационе. Незадолго до 1900 года, когда немецкие и американские физиологи наконец поняли важнейшую роль сахаров в клеточном метаболизме, сахар даже называли «идеальной пищей природы». Некоторые врачи и физиологи даже вполне всерьез утверждали, что оптимальная человеческая диета должна вообще состоять из одного только сахара. Сейчас-то мы, конечно, понимаем, что все немного сложнее. Сахар – вовсе не «идеальная пища природы», он может вызывать определенные проблемы. С другой стороны, мы, конечно, смеемся над глупым высокомерием ученых, живших век назад, но не делаем ли мы сейчас похожей ошибки с такой же спесью? Неужели сахар действительно так вреден?

Все опять-таки зависит от контекста.

У природы нет никакой «идеальной пищи»; один продукт лучше другого только потому, что он лучше удовлетворяет потребности наших клеток в данный конкретный момент, с учетом наших генов и образа жизни. Более того, многие вещи хороши в краткосрочной перспективе, но в долгосрочной довольно рискованны. Если у природы и есть «идеальная диета», то это набор различных продуктов, сбалансированных и удовлетворяющих наши индивидуальные потребности. Жизнь, которая является главной темой любой дискуссии о диетах, сложна, причем всегда сложнее, чем мы думаем.

Оптимальная диета – это та, которая подобрана под ваши гены и ваш образ жизни.

Не существует даже никакой пищевой группы, которая была бы полностью полезна или полностью вредна – ни углеводы (в том числе простые углеводы – сахара), ни белки, ни жиры, ни витамины, ни минералы. Из белков мы, например, получаем незаменимые аминокислоты.

кислоты, которые не можем вырабатывать сами. Без белковой пищи мы будем страдать от недоедания и умрем от болезней. С жирами та же история: есть несколько липидов, без которых нам не обойтись. Более того, жир – это не только эффективный источник калорий: некоторые жирорастворимые витамины не усваиваются, если вы не получаете с пищей достаточно жиров, чтобы их растворять. Большинство ароматических веществ жирорастворимы, так что блюда без жиров кажутся сравнительно безвкусными.

Отличный пример – липид под названием холестерин. У нас настоящая культурная фобия холестерина, но при этом без него нам просто не выжить. Некоторым из нас холестерин достаточно в очень малых количествах, некоторым его нужно больше, но в целом холестерин не является «вредной пищей» – кроме как в некоторых контекстах. Если взглянуть шире, то, несмотря на то, что мы не стесняемся заявлять, что пищевые жиры вызывают артериальные болезни, и на то, что мы знаем, что высокий уровень липидов и холестерина в крови является фактором риска, доказательств вредности пищевых жиров на самом деле намного меньше, чем нас заставляют думать. Отказ от жиров и холестерина – это не панацея от возрастных артериальных заболеваний.

А что насчет витаминов и минералов? Не стоит и сомневаться, что нам нужно много витаминов и минералов, хотя, опять-таки, существует намного больше индивидуальных различий, скорее всего – генетических, чем мы думаем. Вопрос, впрочем, другой: полезны ли витамины и минералы в виде *пищевых добавок*? В некоторых случаях – очевидно полезны. Никто не будет спорить, если витаминные добавки пропишут пациенту с витаминной недостаточностью, но у разных людей все равно разные диетические потребности. Одному человеку, возможно, нужно вдвое больше витамина С, чем другому, или вдвое меньше ниацина. Хуже того: во многих развитых странах типичная диета – это плохой и несбалансированный источник необходимых питательных веществ. То, что на средней фастфудной диете мы остаемся в живых и даже толстеем, вовсе *не* означает, что мы хорошо питаемся. На подобной диете мы получаем слишком много калорий, но далеко не все необходимые питательные вещества. Вместе с ожирением мы можем страдать сильнейшей витаминной или минеральной недостаточностью.

Но нужны ли нам пищевые добавки? Многие из нас едят столько витаминных добавок, что организм просто выводит их (особенно водорастворимые витамины группы В) через почки. Профессора-фармакологи часто шутят, что у американцев самая дорогая моча в мире. Возможно, мы действительно принимаем слишком много пищевых добавок, но что же нам *на самом деле* делать?

Что считать оптимальным?

Люди чаще умирают от лекарств, а не от болезней.

Мольер

Оптимальная диета – это такая, которая подобрана под *ваши* гены и *ваш* образ жизни. Люди эволюционировали не для того, чтобы хорошо жить на диете с высоким содержанием жиров и калорий и низким – витаминов и минералов, и они к ней еще не адаптировались. Некоторым из нас, возможно, действительно нужны витаминные и минеральные добавки, но большинству из нас необходима разнообразная диета, включающая белковую пищу, большое количество фруктов и овощей и немного простых сахаров. Это вовсе не революционная рекомендация, так что давайте обсудим ее подробнее.

Большинство водорастворимых витаминов (В, С) – это довольно хрупкие молекулы, и им не нравится, когда их подогревают или просто слишком долго держат. Если в вашем рационе только вареные или жареные овощи (а не свежие салаты и сырые овощи) или, хуже

того, овощей нет вообще, то вы рискуете получить недостаточность водорастворимых витаминов, и вам нужны пищевые добавки. Жирорастворимые витамины интересны тем, что отчасти зависят от количества жиров в вашей пище: если вы едите слишком мало жиров, то вам опять-таки стоит задуматься о пищевых добавках с жирорастворимыми витаминами (А, D и E). Витамин К отличается от остальных витаминов: как выяснилось недавно, витамин К извлекают из пищи бактерии, живущие в нашем кишечнике, но тем не менее, нам все равно требуется некоторое количество пищевых жиров, чтобы эффективно его усваивать. Впрочем, самая распространенная проблема – это диета, в которой не слишком *мало*, а слишком *много* жиров; с таким рационом пищевые добавки просто необходимы. Когда вы, кроме фастфуда, не едите почти ничего, в это «почти ничего» входят и те витамины, которых вам недостает. Если вы берете завтрак, обед, и ужин в окошке ресторана для автомобилистов, дома на десерт вам стоит есть мультивитаминные добавки.

Но почему нельзя просто прописать всем витаминные добавки и на этом закончить? Если не учитывать денежные и временные затраты (они довольно небольшие), то причины принимать больше витаминов, чем необходимо организму, просто нет. Многим из нас нравится думать иначе: если витаминные и минеральные добавки помогают мне оставаться здоровыми, то, принимая по 10 таблеток в день, я вообще буду жить и останусь молодым вечно?

Ах, все было бы так весело, кабы не было так грустно...

К сожалению, для всех необходимых витаминов и минералов существует оптимальное количество, и при его превышении все быстро катится под откос. Данные не только показывают, что дополнительные витамины редко помогают избежать возрастных заболеваний: есть довольно серьезные доказательства, что риск возрастных заболеваний и смерти растет вместе с необязательными дозами витаминных добавок. Больше в данном случае – не просто *не* лучше, но и хуже.

Верно и обратное. Мы избегаем некоторых вещей, потому что они «вредны для здоровья», но полное воздержание тоже может вызвать проблемы. Слишком много хорошего может быть плохо – как и слишком мало плохого. Например, у вас может быть слишком *мало* свободных радикалов для поддержания оптимального здоровья. Организму необходимы свободные радикалы, чтобы убивать бактерии и модулировать множество метаболических процессов. Так что избыток свободных радикалов в клетках – это, конечно, плохо, но их недостаток – тоже совсем не здорово. Кроме того, можно привести аналогию с кислородом. Избыток атомов кислорода в ваших клетках, особенно свободных кислородных радикалов, может нанести значительный урон, но *вообще* без кислорода вы сразу умрете. У любого вещества есть оптимальная концентрация. В случае с пищевыми добавками, как и со свободными радикалами и кислородом, умеренность – это скучный, но зато верный путь к здоровью.

Как несправедливо! Все было бы настолько легче, если бы действительно существовали «полезные» и «вредные» блюда, продукты, пищевые добавки, витамины, минералы, жиры, свободные радикалы и так далее. Реальность намного сложнее: все, что вы едите, можно назвать полезным или вредным только в контексте и в оптимальном количестве, а оптимальное количество для разных людей разное.

В общем, витаминные добавки, конечно, имеют право на жизнь, но к ним нужно относиться консервативно. Некоторые витамины могут быть полезны, но больше витаминов не приносит больше пользы. Нет, я не буду вам запрещать ежедневно принимать мультивитамины: просто не ждите, что они защитят вас от старости и возрастных заболеваний. Такого не будет. Единственным исключением уже давно является спор о токоферолах, в том числе витамине E. В последние 20 лет не раз предполагалось, что если вы станете принимать витамин E в дозах, минимум вдвое превышающих рекомендованные, то сможете отсрочить наступление болезни Альцгеймера. Данные никогда не отличались полнотой, их часто оспа-

ривали (после чего через несколько лет они снова всплывали), но я всегда говорил, что если попробовать, хуже не будет. В конце концов, затраты на витамин Е низкие, особых рисков от его приема нет. Высокие дозы витамина ингибируют тромбоциты и свертываемость крови, но разве мы не рекомендуем аспирин по этой же самой причине? Поскольку на данный момент нам вообще нечего предложить пациентам с болезнью Альцгеймера, почему бы и не попробовать токоферол? Пуристы высказываются против, но у пуристов обычно нет болезни Альцгеймера, так что я даю пациентам возможность подумать самим. Возможно, витамин Е тоже не поможет против болезни Альцгеймера, но, с другой стороны, а что вообще помогает?

Специфические диеты

Если говорить о еде в целом (а не только о пищевых добавках), то это куда более знакомая и понятная большинству людей область. Современные диетологи придумали для американцев отличное и очень простое правило: покупайте еду, которая продается по периметру супермаркета, а не в проходах посередине. Если будете следовать этому правилу, то избежите полуфабрикатов, консервов, газировки и «пустых» калорийных лакомств и вместо этого купите свежие овощи и фрукты, расположенные вдоль стен.

Еще одна часто встречающаяся рекомендация – не ешьте ничего, что ваша прабабушка не распознала бы как пищевой продукт. Так что – до свидания, литровые бутылки газировки, яркие сладкие готовые завтраки и «фруктовые продукты» в пластиковых тюбиках.

Бабушкины советы, как и советы врача, обычно кажутся скучными, но вот следовать им часто бывает очень полезно. Еще одно правило насчет цены и ценности продуктов гласит: *«Платите фермеру, а не упаковщику»*. Чем выше затраты на рекламу, обработку и упаковку, тем менее питательны продукты. В случае с некоторыми готовыми завтраками вы, наверное, получите больше пользы, если съедите их картонную упаковку.

ДИЕТА «СТЕННАЯ»

Никогда не покупайте еду, продающуюся в проходах посередине супермаркета. Покупайте только ту, что стоит на витринах и прилавках вдоль стен: свежие овощи и фрукты.

Похожее правило применимо и к ингредиентам. Чем длиннее список ингредиентов, тем меньше пищевая ценность, особенно если вы не можете сходу произнести название, или вам приходится лезть в Google, чтобы понять, для чего они нужны. Никому не нужно искать в Интернете, что содержится в банане.

Этому есть причины.

Покупайте еду, а не пищевые продукты

В нашей культуре слово *диета* манипулятивно; оно имеет два основных значения. Одно связано с питанием: «У тебя сбалансированная диета?» Другое – с нашей американской общенациональной одержимостью похудением: «Я сажусь на диету». Это очень плохо: дискуссия должна быть общей, а не разделенной. «Нормальная» диета должна быть сравнительно низкокалорийной и содержать достаточно калорий, жиров, углеводов, белков, витаминов и минералов, чтобы обеспечить наши сложные пищевые потребности. Хорошо бы, конечно, верить, что соблюдение такой «нормальной» диеты сделает нас худыми и здоровыми (а это не обязательно синонимы), и в общем смысле это даже верно. Проблемы – в специфике.

На «нормальной» диете сидят лишь очень немногие. По большому счету, «нормальная» диета на самом деле довольно ненормальна. Мы куда больше внимания уделяем скорости приготовления и красивым упаковкам, чем питательности. Но даже при самом хорошем

и сбалансированном рационе у некоторых из нас есть гены, которые делают нас толстыми – хотя другие люди, которые едят точно так же, остаются худыми.

Давайте подумаем, почему так происходит.

Наш обмен веществ настроен на окружающую среду, очень сильно отличающуюся от развитых стран XXI века. Если бы мы могли вернуться на 1 тыс. лет назад и посетить какую-нибудь деревушку в Европе, Африке или Азии, то обнаружили бы, что жирными были не очень многие наши предшественники, но вот сама *способность* к ожирению – гены, которые помогали людям хранить калории в жире, скопившемся на теле, – была полезна для выживания. Эти гены помогали нашим предкам пережить плохой урожай и долгую зиму. Худые умирали от голода, потому что не могли запасти достаточно калорий, чтобы дожить до лучших времен, а вот люди с лишним весом доживали до весны. До очень недавнего времени полнота считалась признаком здоровья и благополучия, причем вполне оправданно.

Сейчас же верно обратное. В большинстве развитых стран еды сейчас более чем достаточно, так что с эволюционной точки зрения накопление жира уже не приносит пользы, а неспособность его накапливать никак не мешает жить. Некоторые из нас, тем не менее, становятся настолько жирными, что у нас увеличивается риск развития хронических заболеваний, особенно болезни артерий, диабета и проблем с суставами. Доступность еды меняется, меняются и генетические риски.

Вы – то, что вы едите, но еще вы – то, что ели ваши предки.

Ваша диета или моя диета?

То, что некоторые называют здоровьем, приобретаю за счет постоянных тревог из-за диеты, – не лучшее, чем тяжелая болезнь.

Александр Поуп

Наше генетическое разнообразие просто потрясает. Если посмотреть на один-единственный ген в популяции и сравнить его со справочным набором реальных генетических аллелей, то обнаружим, что у среднестатистического человека – от 5 до 10 млн однонуклеотидных вариантов. Все мы слегка отличаемся от окружающих аллелями наших генов. Многие из этих вариантов никак не влияют на развитие болезней, но могут иметь менее очевидный эффект – например, влиять на то, как организм реагирует на диету. То есть наш личный генетический состав определяет нашу *оптимальную* диету и индивидуальную реакцию на отдельные продукты.

Кроме разницы в генах и паттернах их экспрессии мы различаемся еще и внутренней популяцией бактерий – микробиомами. В последнее время появляется все больше доказательств, что это утверждение верно по крайней мере в отношении бактериальной популяции нашего кишечника. Даже при одинаковой диете и генах из-за разной популяции бактерий один человек будет более здоровым, худым или счастливым, чем другой. Пищевая аллергия, повышенная чувствительность к еде и многие другие проблемы скорее вызываются бактериями, чем родительскими генами, хотя точные причины определить сложно. Если вы действительно хотите найти для себя здоровую диету, то вам стоит задуматься, как завести у себя особенно полезную популяцию дружественных кишечных бактерий. Можно, конечно, применить уже известные подходы – например, есть овощи, – но мы пока только-только начали понимать, насколько огромную важность, вероятно, имеют наши бактерии, и мы до сих пор не знаем почти ничего о том, как именно получить оптимальный набор бактериальной микрофлоры.

Тем не менее, несмотря на разницу в генах, паттернах экспрессии генов и популяциях кишечных бактерий, некоторые люди все равно утверждают, что все мы должны придер-

живаться одной «идеальной» диеты. Некоторые конкретные диетические советы – например, избегать слишком калорийной пищи – вполне справедливы, но доктринерские диеты, которые предлагают узкий подход и никак не учитывают индивидуальные различия, скорее всего, вызовут только разочарование. Один из примеров – популярная ныне «палеолитическая диета», которая пытается копировать рацион древних людей. Предложение есть меньше полуфабрикатов здраво и похвально (*«платите фермеру, а не упаковщику»*), но в этой диете есть три серьезные ошибки. Во-первых, она игнорирует индивидуальные различия. Мы все разные (если уж на то пошло, наши предки в каменном веке тоже были разными) и, соответственно, на одну и ту же диету реагируем по-разному. Во-вторых, наши знания о рационе доисторических предков, скорее всего, поразительно неверны. 15 тыс. лет – это очень большой срок; мы толком не знаем даже, что ели люди 2–3 тыс. лет назад или, в случае с некоторыми народами и культурами, даже всего несколько сотен лет назад. В-третьих, предполагается, что со времен палеолита мы не эволюционировали. Напротив: наши гены на удивление быстро реагируют на еду, доступную в окружающей среде.

Давайте для примера рассмотрим лактазу – фермент, который позволяет нам переваривать молоко. Во младенчестве лактаза есть у всех – она позволяет нам переваривать материнское молоко. Но многие люди теряют способность вырабатывать лактазу задолго до того, как повзрослеют. Люди времен палеолита во взрослом возрасте уж точно не вырабатывали лактазу и, соответственно, не могли переваривать молочные продукты. Тем не менее, экспрессия лактазы у взрослых – «переносимость лактозы» – развивалась у людей по крайней мере дважды (а скорее всего, не один десяток раз), например, у масаев или североевропейцев, которые отлично адаптировались к диетам, включающим молочные продукты. Мы уже совсем не такие, какими были в палеолите, кроме того, палеолитическая диета не обязательно является самой подходящей для наших генов (и кишечных бактерий). Многие диеты в развитых странах, несомненно, вредны для здоровья, но очень маловероятно, что предположительно «палеолитическая» диета (не говоря уж о *настоящей* палеолитической диете) будет оптимальна для хоть сколько-нибудь большого числа людей.

Любая доктринерская диета связана с риском. С одной стороны, вегетарианцам нужно откуда-то брать достаточное количество витамина В₁₂. С другой стороны, люди, которые вообще не едят овощи, часто испытывают недостаток фолиевой кислоты. Тем не менее, диеты превратились в невероятно успешные веяния моды: за несколько лет случаются перепады от одной крайности («Ешьте только углеводы») к другой («Не ешьте никаких углеводов»). Иногда две диаметрально противоположные диеты даже бьются друг с другом за общественное признание и внимание прессы, хотя, скорее всего, ни одна из них не полезна для здоровья. Хорошее неписаное правило состоит в следующем: если некая новаторская диета постоянно мелькает в телевизоре, Интернете и книжных магазинах, то можно с уверенностью сказать две вещи. Во-первых, кто-то на продвижении этой диеты очень хорошо зарабатывает; во-вторых, в точности следовать этой диете – большая глупость.

Чтобы подобрать правильную диету; нужно уделять внимание своему телу и окружающей реальности. Диета – это не религия, не политическая философия и не догма. Внимательно слушайте, что говорит вам ваше тело.

Старение и диета

Вне зависимости от всех вышеперечисленных факторов, с возрастом рацион должен меняться. Когда теломеры укорачиваются, клетки в мышцах, коже, и внутренних органах начинают работать все медленнее и использовать меньше энергии. Так что чем вы старше, тем в целом вам нужно меньше еды. Было бы здорово, если бы избыточные питательные

вещества поступали в клетки и заставляли их ремонтироваться, но, к сожалению, так организм не работает. Один из самых распространенных эффектов изменения экспрессии генов в стареющих клетках – уменьшение скорости метаболизма, потому что клетки уже не ремонтируются, не обновляются и не перерабатывают использованные материалы так же активно, как в молодости. Таким образом, у стареющих клеток ниже потребность в калориях, а избыточные калории переправляются в жировые отложения на теле.

С возрастом нам нужно меньше калорий. Если мы продолжим есть настолько же калорийную пищу, то растолстеем.

Когда вам 50 лет, а едите вы как двадцатилетний, вы не почувствуете себя на 20 лет. Вам по-прежнему будет 50, просто вы потолстеете.

Многие молодые взрослые, окончив институт, замечают, что начинают набирать лишний вес, если не ограничивают калорийность еды. По большей части набор веса в этот конкретный период обусловлен не изменением скорости обмена веществ, а уменьшением физической активности. Но когда мы стареем, метаболическая активность в клетках начинает постепенно снижаться, причем вне зависимости от физических нагрузок. Неважно, сколько часов в неделю вы, допустим, играете в теннис: в ваших клетках просто медленнее обновляются белки (и другие молекулы). Это, конечно, позволяет экономить энергию, но приводит к двум пагубным результатам. Первый и самый важный – клетки теряют функциональность и начинают накапливать повреждения, о чем уже говорилось во второй главе. Второго результата мы «добиваемся» лишь в том случае, если продолжаем питаться такой же калорийной пищей, как в молодости – так поступают многие из нас. Этот результат – ожирение и повышенный риск развития многих хронических заболеваний, связанных с ним.

В оптимальном случае нам стоит уменьшить количество калорий и белков в пище. Обычно наши потребности в питании с возрастом уменьшаются. Но вот потребность в определенных витаминах и минералах не снижается, а остается сравнительно постоянной или даже немного увеличивается. Давать более точные рекомендации, чем ежедневный прием витаминов, с возрастом становится все сложнее из-за генетических различий и индивидуальной предрасположенности к определенным возрастным заболеваниям.

ДИЕТА: СОВЕТЫ ДЛЯ ПОЖИЛЫХ

1. Уменьшите калорийность.
2. Избегайте пустых калорий и быстрых углеводов.
3. Обеспечьте стабильный приток витаминов, минералов и т. д.

Суть дела, впрочем, довольно проста. Чем старше мы становимся, тем важнее соблюдать сбалансированную диету и ограничивать калорийность еды, чтобы удовлетворять реальные потребности обмена веществ. Здоровых пожилых людей, которые сидят на высококалорийной, несбалансированной диете, очень мало.

Физические нагрузки

Ходьба – лучшая физическая нагрузка. Долгие прогулки должны войти в привычку.
Томас Джефферсон

Общепринятое мнение состоит в том, что физические нагрузки – это хорошо, и они помогают отсрочить наступление старости и болезней, но правда ли это? В определенной степени – да, но в меньшей, чем вы могли бы подумать. Нет совершенно никаких доказательств того, что тренировки замедляют старение, хотя они могут помочь вам избежать возрастных заболеваний. Физические нагрузки нужно ценить, но все же относиться к ним рационально.

Во-первых, если любые нагрузки хороши, почему в рекламе часто говорится «перед тем, как приступить к нашей тренировочной программе, проконсультируйтесь с врачом»? Некоторым людям от тренировок не просто не станет лучше – они могут после них просто не выжить. С другой стороны, основной фактор риска – это, конечно, не сами тренировки, а проблемы со здоровьем. Классический пример: пожилой мужчина, испуганный болью в груди, идет ко врачу, и тот говорит, что у него стенокардия, и есть немалый риск сердечного приступа. Вполне вероятно, что его состояние немного улучшится, если он постепенно начнет тренироваться по программе, составленной с учетом возраста и других особенностей организма, – но если он на следующий день выйдет на улицу и попытается сразу пробежать 10 км, то вполне может во время этой пробежки умереть от инфаркта. Физические нагрузки для вас полезны, но только в контексте. Если вы хотите тренировать свое тело, то тренируйте заодно и мозг тоже.

Во-вторых, почти все (но не все) данные, которые говорят, что тренировки полезны, показывают лишь корреляцию, а не причинную связь. Если, допустим, я опрошу 2 тыс. человек и узнаю, что 1 тыс. из них каждый день тренируются и ни разу в жизни не болели, а оставшиеся 1 тыс. человек не тренируются, и все они больны, это само по себе не доказывает, что тренировки полезны. Первая группа может быть составлена только из спортсменов-подростков, а вторая – из престарелых пациентов хосписа. Здоровье у подростков обычно лучше, чем у пациентов хосписа, причем вне зависимости, тренируются они или нет.

Этот пример выглядит по-дурацки, но во многих исследованиях, посвященных «пользе тренировок», совершается, по сути, такая же ошибка. Представьте, что у нас опять-таки есть 2 тыс. человек одного возраста и с похожими историями болезней, при этом половина из них тренируется, а половина – нет. Вполне возможно, что у половины, которая не тренируется, есть какие-либо «гены высокого риска», которые не только рано или поздно вызывают хронические заболевания, но и делают этих людей менее энергичными; им просто изначально не очень хочется тренироваться. В этом случае болезнь обусловлена не отсутствием физических нагрузок, а генами, которые приводят и к болезням, и к сидячему образу жизни. Таким образом, некоторым людям просто не повезло уже при рождении.

Вот по-настоящему важный вопрос: что произойдет, если мы в качестве эксперимента возьмем группу людей, которые не слишком здоровы и подвержены известным факторам риска, вызывающим заболевания, и заставим их регулярно тренироваться? Сделает ли это их более здоровыми? Предотвратит ли болезни? Подобное исследование, конечно, провести невероятно трудно, но определенное представление о том, каков будет ответ, у нас есть.

Что неудивительно (если предположить, что вы не сделаете какую-нибудь вопиющую глупость), физические нагрузки действительно полезны, причем по многим причинам. Во-первых, они снижают артериальное давление и уровень глюкозы в крови, что, соответ-

ственно, уменьшает риск самых разных хронических заболеваний. Во-вторых, в зависимости от типа тренировок вы можете замедлить наступление остеопороза, создав постоянную нагрузку на кости. Бег, например, помогает сохранить плотность костей в ногах, а гимнастические соскоки – в позвоночнике. Грубо говоря, здесь действует правило «Используй это, или потеряешь». Если вы достаточно нагружаете какую-либо часть тела, то она будет оставаться здоровой.

Вы, возможно, удивитесь, но тренировки полезны еще и для клеток, устилающих наши суставы. По сути, лучше всего наши суставы работают, когда находятся в постоянном движении под воздействием небольших нагрузок (или силы притяжения). Причина состоит в том, что у хондроцитов в наших суставах нет прямого кровоснабжения, так что их здоровье зависит от движения. Все питательные вещества и кислород должны диффундировать из сравнительно далеких капилляров, а отходы и углекислый газ – тем же способом уходить обратно. Процесс напоминает вымывание чернил из кухонной губки под проточной водой. Когда вы сжимаете губку, немного чернил вытекает; когда отпускаете, губка впитывает чистую воду. Если повторять процесс, то губка в конце концов станет чистой. Примерно то же происходит и с нашими хондроцитами: повторные сжатия и разжатия на поверхности сустава способствуют обмену питательными веществами, отходами и газами. Суставы, которые каждый день подвергаются легким нагрузкам, будут чувствовать себя лучше, чем те, которые вообще не нагружаются. Если говорить в целом, то для суставов – а также мышц, артерий, сердца и легких – нагрузки полезны.

Однако, как вы, наверное, ожидали, есть и исключения.

Давайте предположим, что вам 20 лет. Вы высоко прыгаете и жестко приземляетесь на колени. Несколько суставных клеток – хондроцитов – погибают, но оставшиеся клетки делятся и заменяют их. Из-за этого, естественно, у новых клеток теломеры становятся короче, так что если такие опасные прыжки вошли у вас в привычку, то клетки будут стареть быстрее, чем если бы вы просто ходили. Вот почему у профессиональных лыжников и баскетболистов колени «старые» – у них развивается остеоартрит, и иногда в довольно молодом возрасте им уже требуется замена коленного сустава. Здесь речь идет уже не о питательных веществах, а о конкретной травме. Если вы, например, плотник или каменщик и часто попадаете себе молотком по пальцам, то ранний остеоартрит начнется уже в этих суставах. Нагрузки – это одно дело, но вот травмы – совсем другое. Каждый раз, когда организму приходится заменять клетки, которые вы убиваете, скорость его старения увеличивается.

Итак, физические нагрузки, конечно, приносят много пользы и даже могут отсрочить наступление возрастных заболеваний, но эту пользу могут «скомпенсировать» упражнения, повреждающие тело. Человеческое тело создано, чтобы его нагружали, и, что бы вы ни делали, со временем вы постареете, но если вы постоянно будете получать травмы, то постареете намного быстрее.

Кроме того, польза от тренировок не зависит от того, сколько денег вы на них тратите. Если вы купите модные тренировочные штаны, беговые кроссовки за 200 долл. США или вступите в самый модный фитнес-клуб, это не принесет никакой дополнительной пользы. Попробуйте понаблюдать за тем, как люди поднимаются на второй этаж в каком-нибудь общественном месте. Одни идут по лестнице через ступеньку, вторые поднимаются еле-еле, третьи вообще едут на лифте. Люди из первой группы получают полезные нагрузки совершенно бесплатно. Никаких ежемесячных взносов, никаких тренажеров. То же верно даже для нашей манеры ходьбы. Если вы ходите энергично, то постоянно подвергаете себя нагрузкам. Если же вы ходите медленно и при любой возможности пользуетесь транспортом, эскалаторами или лифтами, то от ежедневных передвижений получите намного меньше пользы. Если вы находитесь в вертикальном положении, это еще не значит, что ваш образ жизни не «сидячий».

Если вы поднимаетесь в офис по лестнице – это уже может быть эффективной физической нагрузкой. Равно как и работа в саду, танцы, даже просто *энергичная* ходьба по дому. Если при слове «тренировка» у вас возникают ассоциации, например, «членство в клубе», «особое время дня», «особая одежда» или, хуже того, «ужасный способ потратить целый час», пользы от таких тренировок вы вряд ли получите.

Тренировки – это то, чем вы *занимаетесь*, а не то, сколько вы *тратите*.

ФИЗИЧЕСКИЕ НАГРУЗКИ: СОВЕТЫ ДЛЯ ПОЖИЛЫХ

1. Двигайтесь *всем* телом – всеми суставами, мышцами и костями.
2. Растягивайтесь: суставы созданы для того, чтобы ими двигать.
3. Придумайте для себя ежедневную простую зарядку, потом добавьте разнообразия.
4. Попробуйте увеличить нагрузку в повседневной жизни: поднимитесь по лестнице вместо эскалатора, пройдите пешком вместо машины или автобуса; иными словами, продолжайте двигаться.
5. Несколько минут каждый день лучше, чем несколько часов по выходным.

Медитация

*Серьезные не умирают. Легкомысленные подобны мертвецам.
Дхаммапада (сборник изречений Будды)*

Чем ценна медитация?

Если бы вы проводили столько времени в обществе борцов со старением, сколько я, вы бы немало услышали о ее несомненной пользе.

Все зависит от того, чего вы надеетесь добиться. Медитация не добавит вам лишних лет жизни, но определенно поможет вам лучше осознать те годы, что вам отпущены. Большинство из тех, кто занимается медитацией уже давно, готовы поклясться, что она полезна – и, в конце концов, почему нет? Если бы они не получали от медитации пользы, то не занимались бы ей. Таким образом, нет особых сомнений, что медитация обладает *субъективными* достоинствами, но вот вопрос об измеримых, *объективных* достоинствах уже не настолько бесспорен.

Различные религии и культуры предлагают нам самые разнообразные формы медитации. Исследователи, изучающие медитацию с научной точки зрения, обычно делят ее на два типа в зависимости от того, какие инструкции даются новичкам и как в процессе меняется электроэнцефалограмма (ЭЭГ). Во время медитации реакция на внешние стимулы может заметно отличаться от нормального, не медитативного состояния. По сути, первый тип медитационной практики (например, дзен-буддийская) – это постоянное осознание внешних стимулов, причем медитирующий не привыкает к этим стимулам со временем. Второй тип медитационной практики (например, йога) характеризуется слабой реакцией на внешние стимулы (или полным ее отсутствием), не говоря уж о привыкании. Сравните эти два типа медитации с нормальными когнитивными состояниями: мы реагируем на внешние стимулы, но потом быстро привыкаем к повторной стимуляции и со временем перестаем реагировать. Сначала мы слышим тиканье часов, но потом перестаем обращать на них внимание (а ЭЭГ перестает реагировать). Человек, занимающийся дзен-буддийской медитацией, будет слышать тиканье постоянно, а занимающийся йогой – вообще изначально неотреагирует. Так или иначе, медитация меняет нашу реакцию на окружающую среду – по крайней мере, на то время, когда мы медитируем.

Помогает ли нам это, когда мы уже не медитируем?

Многие в ответ на вопрос о субъективной ценности медитации отвечают, что она помогает «снизить стресс» или «стать менее раздражительными и эмоциональными». Для других польза даже еще более заметная: они говорят, что им удалось «перезагрузиться» или «восстановить равновесие». Медитация перезагружает ваш разум, так что вместо того, чтобы разрываться сразу в тысяче направлений, вы сосредотачиваетесь на текущей задаче. Или же вы восстанавливаете равновесие, возвращаетесь в некий «центр» – примерно как глину нужно сначала расположить в центре гончарного круга, иначе она с него просто слетит. Большинство из тех, кто практикует медитацию, не видят необходимости доказывать, что она «работает», – примерно по той же причине, что не нужно доказывать, что вам нравится, допустим, выращивать цветы или готовить. Некоторые виды деятельности просто приятны. Нам не обязательно давать им рациональное обоснование. Как пользу ни описывай, но те, кто занимается медитацией, явно верят в то, что медитация субъективно полезна. А вот объективная польза – уже совсем другой разговор.

И это приводит нас к вопросу: может ли медитация помочь продлить здоровую жизнь?

Чтобы оценить потенциальную физическую пользу от медитации, проводились сотни исследований. Очень многие из них начинались с конкретной целью, продолжались с

использованием плохих экспериментальных методов и заканчивались получением ровно тех результатов, которые хотели получить авторы. Другие исследования проводились тщательно и добросовестно, и ученые действительно хотели узнать, есть ли от медитаций какая-то конкретная польза. Факты от домыслов отделить очень трудно, но можно сказать одно: определенную пользу медитация приносит, но это не панацея, особенно от возраста и возрастных заболеваний. По большей части эта польза ограничивается показателями физиологического стресса, в частности, артериальным давлением и иммунной функцией, но некоторые из этих связей всего лишь корреляционные, а не причинные. Так что если мы хотим узнать, может ли медитация, допустим, отсрочить наступление болезни Альцгеймера, то точного ответа нет – и скорее всего, он будет отрицательным.

МЕДИТАЦИЯ: СОВЕТЫ ДЛЯ ПОЖИЛЫХ

1. Медитация – способ снизить стресс.
2. Какую именно форму принимает медитация – неважно. Важен покой.
3. Найдите время и место для ежедневной медитации и старайтесь их не менять.
4. Две минуты в день – лучше, чем целый час раз в неделю.

Что насчет теломер? Если конкретно: может ли медитация удлинить теломеры или хотя бы замедлить их потерю? Это современная, поддающаяся точной количественной оценке версия вопроса «Может ли медитация сделать вас моложе?» В некоторых исследованиях, где рассматривалось изменение длины теломер со временем, был сделан вывод, что медитация может удлинить теломеры. К сожалению, данными эти выводы не подтверждаются. Одна из проблем – использование длины теломер в периферических лейкоцитах в качестве надежного показателя степени старения тела. Более длинные теломеры в кровеносной системе могут говорить о том, что вы подвергаетесь меньшему стрессу (например, у вас нет инфекций), но это вовсе не значит, что теломеры в вашем костном мозге, не говоря уж о других органах, удлиняются, или что вы становитесь моложе.

Активаторы теломеразы

Никакие тренировки, даже самые тяжелые, никакие диеты, даже самые раскрученные, никакая медитация, даже самая приятная, не смогут предотвратить старение. Ускорить старение вполне можно, но никакие изменения образа жизни или рациона питания не смогут его остановить или обратить вспять.

Но способы остановить старение или обратить его вспять все же *существуют*.

Мы уже довольно много лет знаем, как обратить вспять старение в клетках, тканях, а в последнее время – и у животных. Остается лишь один вопрос: насколько *эффективно* мы можем остановить старение у людей? Эта отрасль науки быстро меняется, и широкая публика постепенно начинает понимать, что с помощью восстановления длины теломер можно восстановить и экспрессию генов. В настоящий момент продаются буквально десятки продуктов, производители которых заявляют, что они эффективно удлиняют теломеры – хотя в большинстве своем эти заявления ничем не обоснованы.

Geron Corporation обнаружила первые эффективные активаторы более 10 лет назад и вскоре продала лицензию на их производство в TA Sciences. Эти активаторы, которые мы обсудили в четвертой главе, разработаны на основе астрагалозидов, и их клиническая эффективность в деле обращения вспять некоторых аспектов старения доказана. Если конкретно, есть два опубликованных исследования, в которых изучались пациенты, принимавшие ТА-65: в одном рассматривали иммунную функцию, в другом – некоторые другие биомаркеры здоровья и старения. В обоих исследованиях⁵¹ были приведены доказательства воздействия на длину теломер у большинства пациентов, а также определенного «омоложения». Не у всех эффект был одинаковый, но у многих пациентов иммунная функция улучшалась, словно они помолодели лет на 10 (у них было меньше одряхлевших Т-лимфоцитов). Похожие результаты обнаружились в анализах артериального давления, холестерина, липопротеинов низкой плотности, уровня глюкозы и инсулина в крови, плотности костей и других показателей, которые, как считается, отражают возрастные заболевания.

Для тех, кто хочет принимать какое-нибудь активное средство, которое замедляет или обращает вспять старение, активаторы теломеразы могут показаться привлекательным вариантом, но есть несколько оговорок. Во-первых, два этих исследования были довольно небольшими, а результаты не полностью убедительны и не бесспорны. Например, изменения иммунитета наблюдались в основном у тех пациентов, которые до этого страдали от цитомегаловирусной инфекции. Во-вторых, изменения заметны только в биологических маркерах, а не в течении самой болезни. Например, уменьшение уровня холестерина – это, наверное, полезно, но еще лучше было бы, если бы улучшалось состояние коронарных артерий, а совсем хорошо – если бы уменьшился риск сердечного приступа. Биомаркеры вроде холестерина – это, конечно, неплохо, но это не болезни, и сами по себе они не вызывают ни старения, ни смерти. В-третьих, несмотря на индивидуальные заявления и имеющиеся данные, нет никаких доказательств того, что хоть один человек, принимавший ТА-65 или другие активаторы теломеразы, на самом деле стал моложе.

Никто не стал из семидесятилетнего двадцатилетним.

С реалистической точки зрения можно вполне сказать, что ТА-65 и, возможно, другие активаторы теломеразы могут обратить вспять некоторые аспекты старения, но, по моим оценкам, подобные вещества эффективны лишь на 5 % от уровня, который требуется,

⁵¹ Hartey, C. B. et al. "A Natural Product Tetomerase Activator As Part of a Health Maintenance Program." *Rejuvenation Research* 14 (2011): 45–56. Hartey C.B. et al. "A Natural Product Tetomerase Activator As Part of a Health Maintenance Program: Metabolic and Cardiovascular Response." *Rejuvenation Research* 16 (2013): 386-95.

например, для лечения или профилактики болезни Альцгеймера. Данные очень интересны и интригующи, так что, возможно, стоит начать принимать активаторы теломеразы уже сейчас, но нам нужно намного более эффективное медицинское вмешательство, если мы хотим на самом деле вылечить или предотвратить старение и возрастные заболевания.

Практично ли будет принимать активаторы теломеразы?

На данный момент цена на них довольно высока – несколько сотен долларов в месяц, – а данные, конечно, интересны, но не полностью убедительны. Хуже того, множество компаний сейчас предлагают дешевые версии этих лекарственных средств, но нет никакой уверенности в том, что в дешевых версиях вообще содержатся астрагалозиды, а если и содержатся, то самые ли эффективные из этих соединений использованы. Более того, конкуренты утверждают, что и другие вещества – например, ресвератрол, ТАМ-818 и т. д. – работают не хуже, а то и лучше, чем астрагалозиды, хотя никакими данными эти заявления до сих пор не подтверждаются.

Итак, существует как минимум один продукт, который действительно оказывает влияние на процесс старения, и это подтверждено научными данными. Есть еще десятки других лекарственных средств – они дешевле, возможно, работают, а возможно – и нет, и их эффективность никакими данными не подтверждена. Больше того, нет никакого рационального объяснения, почему большинство этих средств вообще *должно* работать. Некоторые из них могут работать, но данных об этом никаких нет. Очень малое число из них, скорее всего, действительно работает, но их принцип работы пока плохо понятен, а их безопасность, легальность и клинический эффект по меньшей мере спорны.

НУЖНО ЛИ ПРИНИМАТЬ АКТИВАТОРЫ ТЕЛОМЕРАЗЫ?

Да, они замедляют старение.

Важно помнить, что любое ваше решение подобно ставке в игре, которая зависит от трех аспектов: цены вопроса, имеющихся данных и ваших финансов. О материальных и иных затратах вам следует задуматься самостоятельно, однако, что касается объективных данных, – действие ТА-65 подтверждено исследованиями, так что он может быть действительно полезен для здоровья.

Впрочем, одно ясно: активаторы теломеразы – это не рекламный трюк и не шарлатанство. Сейчас рынок полон ложных и неподтвержденных заявлений, но эффективность активаторов теломеразы на клетках, тканях, животных и (в определенной степени) людях научно доказана. На момент, когда я пишу эти строки, не было обнаружено никаких значительных побочных эффектов или рисков, например развития рака. Основные вопросы звучат так.

1. Какие именно коммерчески доступные препараты эффективны?
2. Насколько эффективны активаторы теломеразы, уже поступившие в продажу?
3. Стоят ли они своих денег, особенно при ограниченном бюджете?

Мы знаем, что активаторы теломеразы могут обратить старение вспять, а ничего другое не может.

Новая технология позволяет нам собирать все больше новых данных, но эти новые данные должны приносить с собой новые взгляды. Эксперименты Левенгука с микроскопом помогли ему увидеть «анималькули», и благодаря этому появился совершенно другой взгляд на человеческие болезни. Тщательные эксперименты Хейфлика помогли по-новому понять процесс клеточного старения. А теперь эксперименты с активаторами теломеразы помогут понять процесс старения в целом.

Глава восьмая

Обратить старение вспять



Потенциал

В следующее десятилетие мы продлим здоровую человеческую жизнь более чем вдвое. Мы находимся в переломной точке истории человечества – ее будут вспоминать через сотни, а то и тысячи лет. У нас появились знания и возможности, которые помогут справиться со старостью и ее болезнями.

В начале XXI века мы впервые показали, что обратить вспять старение человеческих клеток и человеческих тканей возможно. В следующее десятилетие мы начали первые испытания оральных средств, которые по меньшей мере частично останавливали процесс клинического старения у людей. Кроме того, несколько университетских лабораторий – в том числе лаборатории Марии Бласко в Мадриде и Рона Де Пиньо в Гарварде – доказали, что старение у животных можно остановить, причем несколькими различными методами. Во всех случаях, без исключений, остановки старения удалось добиться, удлинив теломеры и восстановив паттерны экспрессии генов, что привело к более здоровому и «молодому» функционированию не только тканей, но и всего организма.

Мы уже на подступах к потрясающему скачку вперед – скоро мы сможем обращать процесс старения вспять, причем очевидным и поразительным образом. Мы сможем вылечить и предотвратить не только возрастные заболевания, но и сам процесс старения.

Какой год лет через 100 в школах на уроках биологии станут называть «первым годом» человеческого здоровья и долголетия? Возможно, 1999, когда впервые удалось остановить старение клеток. Или 2007, когда в продаже появились первые таблетки – активаторы теломеразы. Возможно, этот год наступит через несколько лет, когда начнутся испытания теломеразы на людях для лечения болезни Альцгеймера. Так или иначе, до этой даты доживет большинство нынешних обитателей Земли. Обращение старения вспять и излечение возрастных заболеваний уже совсем близко. Потомки будут указывать на какой-нибудь год в первых двух десятилетиях XXI века и говорить: вот момент величайшего достижения за всю историю медицины – момент, в который навсегда удалось изменить само человечество.

Как ни странно, очень немногие знают о переменах, уже случившихся за последние два десятилетия. Часто прогресс скрывается за мелкими, более прозаическими достижениями. За эти 20 лет финансирование получили многие крупные исследовательские фонды, всерьез посвятившие себя исследованию старения и возрастных заболеваний, но практически все эти фонды, без исключения, продолжали работать в рамках старых парадигм и, соответственно, не смогли принести никакой реальной пользы пожилым людям. Ни одному из этих исследовательских фондов, несмотря на финансирование и реальные усилия, не удалось изменить клинических результатов старения. Это не единственный пример в истории медицины, когда финансирование основывалось на имеющихся парадигмах, а не будущих достижениях.

В начале 50-х годов прошлого века, еще до появления первой вакцины от полиомиелита, похожие инвестиции делались в «железные легкие», улучшение медицинского ухода и бесполезные клинические методы лечения детей с паралитическим полиомиелитом – в том числе электричеством, кислородом, травами и высокими дозами витамина С. Люди надеялись на излечение, но мы вкладывали огромные деньги и усилия в методы, которые не были ни фундаментальными, ни эффективными. Примерно то же произошло и со старением и возрастными заболеваниями. Предполагая, что старение неизбежно, мы лечим лишь осложнения и симптомы, не обращая внимание на причины. Многие по-прежнему верят в усталость и износ, свободные радикалы, «гены старения» и другие простые парадигмы, которые не дают никаких клинических результатов, несмотря на огромные финансовые инвестиции в исследование старения.

Нет ничего ужаснее, чем действие без понимания.

Гете

Ключевые прорывы в области антистарения были сделаны практически случайно, безо всяких фанфар, несколькими небольшими биотехнологическими фирмами, талантливыми учеными и проницательными клиницистами. Немалый вклад сделали сотрудники Geron,

Sierra Sciences и TA Sciences, а также несколько университетских исследователей. Даже мои собственные книги и статьи стали важной частью работы. Некоторые люди рассматривали тему чуть внимательнее, мыслили чуть глубже и работали чуть прилежнее остальных, и это привело нас к достижениям, которых иначе бы просто не было. Вот что получается, когда парадигмы сдвигаются, и научная проницательность ведет нас в неожиданных направлениях.

Когда мы говорим о том, что нам удастся покончить со старением, люди часто делают поспешные и неверные выводы. Так что прежде чем обсуждать, чего мы вскоре добьемся и что это значит для каждого из нас, давайте сначала поговорим о том, чего *не* произойдет. Во-первых, мы не достигнем бессмертия. Это – удел мифов, фэнтези и научной фантастики. Неважно, насколько мы здоровы, неважно, какие у нас гены и как они экспрессируются, – наша жизнь все равно будет ограничена по крайней мере насильственной смертью, катастрофами, острыми болезнями или просто несчастными случаями.

Во-вторых, когда мы говорим о резком удлинении человеческой жизни, первая реакция у многих примерно такая: «А зачем мне столько жить?» Имеется в виду – зачем целый век, а то и дольше жить в доме престарелых? Естественно, речь на самом деле идет не об этом. Ошибочное предположение вполне понятно: *средняя* продолжительность жизни в развитых странах увеличилась в том числе и потому, что мы научились продлевать жизнь старым, больным людям. Наши ошибки и страхи, порождаемые ими, лишь подогреваются литературой и мифологией. В одном греческом мифе Эос, бессмертная богиня зари, попросила Зевса даровать бессмертие ее возлюбленному Тифону, но забыла упомянуть о вечной молодости. В результате этого ужасного розыгрыша Тифон оказался обречен на вечную старость и дряхлость.

В «Путешествиях Гулливера» Джонатан Свифт описал струльдбругов – бессмертных людей, которые в старости становятся дряхлыми и беспомощными. В 80 лет их объявляют юридически мертвыми, отдают имущество наследникам, и они живут в нищете и лишениях. Можно вспомнить и Дориана Грея, персонажа Оскара Уайльда – внешне он был молод, а изнутри сгнил заживо.

Но ни один из этих устрашающих вымыслов никак не отражает того, что произойдет, когда мы по-настоящему обратим старение вспять. Удвоить продолжительность человеческой жизни – что вполне реалистично – можно только в том случае, если мы обеспечим себе хорошее здоровье. Мы не можем удвоить продолжительность жизни, если одновременно с этим удвоится и тяжесть болезни Альцгеймера, атеросклероза или других возрастных заболеваний. Было время, когда из-за полиомиелита тысячи детей оказались заключенными в «железных легких». Вакцина от полиомиелита не продлила их заключение: вместо этого она подарила детям нормальное детство. Та же самая перспектива ожидает нас и после победы над старением: мы не продлим время пребывания в домах престарелых, а подарим людям здоровую жизнь. Единственный способ увеличить продолжительность жизни – вылечить и предотвратить болезни, которых мы больше всего боимся, болезни, из-за которых мы попадаем в хосписы и дома престарелых, и жизнь становится лишь тенью себя прежней.

Мы предлагаем здоровье и жизнь, а не постепенное потускнение света.

Когда мы продлим жизнь, по-настоящему обратив вспять старость, то сможем значительно снизить затраты на медицинские услуги – дома престарелых больше не понадобятся,

с возрастными заболеваниями мы справимся, люди будут здоровыми и смогут наслаждаться жизнью в полном объеме. Мы сделали практически все, что могли, чтобы продлить жизнь стареющим людям, – иногда это обходилось нам очень дорогой ценой, как финансовой, так и эмоциональной, – но теперь единственный оставшийся способ еще увеличить продолжительность жизни – не продлевать инвалидность, а улучшить здоровье.

Если мы сможем обратить вспять старение и предотвратить возрастные заболевания, сколько же мы будем жить? Это предсказать сложно. Мы не узнаем этого еще долго после того, как начнется работа по предотвращению старения – до того, как люди доживут до своего предела, каким бы он ни был. Пользуясь нашими знаниями о человеческой биологии и клинической медицине, а также той скудной информацией, что удалось получить на модельных животных и экспериментах с тканями, можно попробовать угадать. В следующие 10–20 лет средняя продолжительность человеческой жизни, вполне возможно, составит несколько столетий, и мы намного лучше сможем контролировать такие заболевания, как рак, болезнь Альцгеймера или атеросклероз. Мы вот-вот изменим человеческую медицину, а также наши жизни, продлив их до нескольких столетий активной, здоровой деятельности.

Мы можем значительно оттянуть смерть и старение и, скорее всего, продлим среднюю продолжительность жизни до нескольких столетий активной, здоровой деятельности.

Идея о продолжительности здоровой жизни, скажем, в 500 лет – это совершенно рациональная тема для обсуждения, даже с точки зрения того, что мы только недавно узнали о возможных методах вмешательства в процесс старения. После того, как мы продлим жизнь до нескольких столетий, нам, очевидно, понадобятся именно эти несколько столетий, чтобы понять, насколько успешной оказалась наша работа.

Короче говоря, это будет самый долгий эксперимент в истории науки. Нам всем придется ждать и наблюдать.

Четыре пути

Обратить старение вспять можно четырьмя разными путями; три из них уже активно исследуются. Самое элегантное решение – использовать активаторы теломеразы – лекарства, которые «включают» нашу собственную теломеразу (с помощью гена hTERT) и восстанавливают экспрессию генов. Этот первый путь активно разрабатывается и тестируется многими биотехнологическими фирмами (в частности, Sierra Sciences), учеными и университетскими лабораториями по всему миру. Пока что на рынке есть по крайней мере два потенциально эффективных средства; и хотя пока неясно, насколько они на самом деле хороши, судя по всему, ни одно из них не является настолько эффективным, насколько хотелось бы. Имеющиеся данные говорят о том, что астрагалозидные соединения, в частности, астрегенол, оказывают положительное влияние на биомаркеры, в частности, уровень холестерина, которые служат косвенными маркерами болезней. Тем не менее, пока нет никаких данных, демонстрирующих, что эти вещества напрямую влияют на возрастные заболевания и уменьшают морбидность или смертность. Кроме того, нет данных и о том, насколько эти вещества способны продлить жизнь.

Второй путь – использовать теломеразный белок. Главная трудность с этим подходом – эффективная доставка белка в клетки. До недавнего времени заставить терапевтический белок проникнуть в клетку казалось невозможным, но некоторым ученым удалось доказать, что у этого подхода тоже есть потенциал. В 2005 году была основана биотехнологическая фирма Phoenix Biomolecular, чтобы проверить этот подход, но она разорилась, так и не начав клинических испытаний. На данный момент никаких проектов, посвященных этому пути, не осталось.

Третье решение – использовать матричную РНК для теломеразы; впервые это удалось сделать в начале 2015 года группе Хелен Блау в Стэнфорде, но до экспериментов с животными и клинических испытаний дело пока не дошло. Этот подход считается трудным из-за хрупкости молекул мРНК, так что он, конечно, применим для лабораторных испытаний на клетках (*in vitro*), но вряд ли реализуем для клинических испытаний на людях (*in vivo*). Получится ли справиться с этой проблемой, пока неизвестно, но сам по себе подход заманчив.

Четвертое решение – доставка гена теломеразы (либо через липосомы, либо через вирусные векторы) непосредственно в клетки. Несколько групп (Telocyte, например, использует аденоассоциированные вирусы) активно исследует этот путь; клинических результатов можно ожидать примерно через год. В обоих случаях главное, что нужно сделать – дать системе доставки нужный «адрес», чтобы она добралась до правильных клеток. Этого достаточно, чтобы доставить ген теломеразы в большинство клеток, но с некоторыми тканями возникают дополнительные проблемы. Гемато-энцефалический барьер мозга, например, сильно ограничивает возможности доставки. С обоими этими препятствиями – нахождением правильных клеток и гемато-энцефалическим барьером – уже удалось справиться в экспериментах над животными, так что вскоре должны последовать и испытания на людях.

Все эти способы можно использовать для лечения конкретных возрастных заболеваний. Некоторые группы явно собираются идти по пути наименьшего сопротивления: они считают, что предотвратить старение кожи и другие косметические проблемы будет проще, чем лечить болезни, да и заработать на этом можно больше. Некоторые из нас, впрочем, твердо убеждены в потенциале теломеразы, и мы ясно представляем себе потребности человечества, так что боремся непосредственно с болезнями, которые на данный момент вообще никак не лечатся – например с болезнью Альцгеймера. Мы понимаем, что, возможно, у нас появился способ вмешаться даже в сам процесс старения, так что хотим сделать то, чего

еще никто никогда не делал и что очень нужно сделать. Испытания теломеразы для лечения болезни Альцгеймера у людей уже планируются, когда я пишу эти строки.

Медицинские результаты

Какие болезни мы вылечим?

Болезнь Альцгеймера, атеросклероз, остеопороз, остеоартрит, старение кожи, старение иммунной системы и большинство других возрастных заболеваний навсегда уйдут в историю и перестанут угрожать нашему личному будущему. Останутся, впрочем, некоторые исключения. Мы сможем избавиться от самых заметных причин инсультов, которые связаны с возрастом, но инсульты все равно будут случаться из-за травм или генетической предрасположенности, вне зависимости от возрастных изменений. Некоторые легочные заболевания, в том числе, возможно, ХОБЛ, все равно будут развиваться из-за загрязненного воздуха или отравлений, а также генетической предрасположенности. Точная линия между тем, что можно предотвратить, а что нельзя, проходит там же, где и линия между генетическими и эпигенетическими заболеваниями. Если у вас серповидноклеточная анемия из-за ненормальной аллели, теломераза вам ничем не поможет. Но с другой стороны, если болезнь связана со старением – малозаметными, но повсеместными изменениями паттернов экспрессии генов, – теломераза поможет.

Каким бы ни был преобладающий подход – прямая доставка генов или прием теломеразных активаторов, – теломеразная терапия обещает уничтожить большинство возрастных заболеваний человека. Более того, это будут заболевания, до сих пор считающиеся неизлечимыми. Теломеразная терапия будет не только эффективнее, чем любой другой имеющийся подход, но и наиболее эффективно поможет вылечить болезни, от которых хуже всего помогает медицинский уход.

Теломеразная терапия сможет эффективно вылечить или предотвратить болезнь Альцгеймера и другие возрастные неврологические заболевания, атеросклероз и другие возрастные сердечно-сосудистые заболевания, и множество болезней – например, остеопороз и остеоартрит, – которые обычно не смертельны, но обладают высокой морбидностью, а остановить или вылечить их до настоящего момента никому не удалось. Более того, нам удастся предотвратить большинство видов рака, потому что мы используем теломеразу, чтобы стабилизировать геном, улучшить ремонт ДНК и предотвратить большинство накапливающихся мутаций, которые вызывают появление злокачественных опухолей. Кроме того, теломеразная терапия хорошо справится с возрастными проблемами кожи, иммунной системы и большинством заболеваний, связанных со старением.

Впрочем, будут и ограничения. Теломеразная терапия уменьшит риск инсульта, но не полностью избавит от него, потому что не все виды инсульта вызываются старением. Не сможет теломераза и исправить необратимые проблемы, которые ваш организм сам залечить не в состоянии. Починить клетки или ткани, которых уже не существует, невозможно, например суставы, которые уже заменили хирургическим путем, мертвые нейроны при болезни Альцгеймера или мертвую мышечную ткань после тяжелого сердечного приступа. Это можно назвать «проблемой Шалтая-Болтая»: вся королевская конница, вся королевская рать и даже теломеразная терапия не смогут Шалтая-Болтая собрать. Теломеразная терапия не может вылечить то, чего уже не существует.

Не поможет теломеразная терапия и в борьбе с сотнями болезней, которые вызываются конкретными генетическими проблемами, например серповидноклеточной анемией. Теломеразная терапия может оптимизировать паттерн генетической экспрессии, но не заменить гены. Все мы рождаемся с генами, ограничивающими наши тела. Теломераза не может снять эти ограничения, но может предотвратить болезни внутри них. Представьте, что гены – это набор инструментов, который достался вам по наследству. Теломераза не может изменить эти инструменты, но может обеспечить их эффективную работу. Наконец, теломераза

не сможет помочь при рискованном или разрушительном образе жизни. Если вы слишком много едите, курите, пьете или принимаете наркотики, или, допустим, зарабатываете на жизнь автомобильными гонками, то над теломеразной терапией можете не задумываться, – вы вряд ли проживете достаточно долго, чтобы воспользоваться ее плодами.

Впрочем, даже учитывая все ограничения, теломеразная терапия обещает нам совершенно новый подход к самым распространенным заболеваниям: она позволит нам вылечить – эффективно и дешево – болезни, которые до настоящего времени либо игнорировались («Это не болезнь, это просто старость»), либо не поддавались никаким видам терапии.

Теломеразная терапия, какой она будет

Лечение на удивление простое. День в клинике будет выглядеть примерно так.

Вы приходите к своему врачу, как на любое другое медицинское обследование, и вас отправляют в процедурный кабинет. Медсестра ставит вам капельницу, и вы видите небольшой пакет с прозрачной жидкостью, ничем не отличающийся от любого другого внутривенного препарата. Жидкость начинает поступать к вам в вену. Примерно через полчаса медсестра проверяет ваши показатели жизненно важных функций, и еще через несколько минут вы уходите домой.

Примерно через две недели вы возвращаетесь на еще одну такую же процедуру. Еще через несколько недель ваш терапевт направляет вас на анализ крови и подтверждает, что теломеры в ваших кровяных тельцах восстановились. В зависимости от истории ваших болезней терапевт проверяет и другие анализы, проводит кардиологические тесты или делает МРТ, возможно – осматривает коленные суставы. Во всех случаях заметны небольшие изменения к лучшему.

Чтобы постареть, нужны десятилетия; ремонт, конечно, начнется быстро, но чтобы заметить позитивные сдвиги, понадобятся недели и месяцы. Поначалу они проявятся незаметно, внутри клеток, потом перейдут на ткани (уже заметнее), и в конце концов станут очевидными и в повседневной жизни. Вы заметите прилив сил и станете чувствовать себя лучше. До терапии вы были хронически усталыми, а после нее начнете заниматься чем-то, о чем даже не думали уже несколько лет. Вы станете лучше спать. Просыпаться без боли. Память вернется к норме. Дышать будет легче. К вам вернется то, что вы когда-то принимали просто как должное: ваше здоровье.

Добро пожаловать в намного более долгую и здоровую жизнь.

А теперь – несколько часто задаваемых вопросов.

? Теломеразная терапия будет применяться всего один раз в жизни?

Нет, примерно раз в 10 лет.

? Как долго ждать результатов?

Весь процесс займет от нескольких месяцев до нескольких лет. Конечный результат зависит от того, насколько сильно организм был поврежден изначально, но степень восстановления будет одинаковой для большинства людей. Если у вас, например, болезнь Альцгеймера на ранней стадии, то вы будете чувствовать себя лучше, чем человек с болезнью Альцгеймера на поздней стадии; степень восстановления будет примерно одинаковой для обоих, но конечный результат будет лучше, если болезнь не зашла слишком далеко.

? Насколько моложе я стану?

Терапия сможет уменьшить ваш физический возраст на несколько десятилетий, но она не вернет вам молодость. Существует конкретный набор клеточных механизмов, которые приводят к взрослению, и он необратим, а вот процесс старения зависит от теломер.

? А что насчет побочных эффектов?

Поскольку ваше тело будет восстанавливать клетки и ткани, а также ремонтировать ваши клетки изнутри, ему понадобится больше энергии, чем обычно. У вас усилится аппетит, а в начале терапии вы будете чувствовать определенную усталость, потому что организм сосредоточит силы на лечении и восстановлении.

? Хватит ли у меня на нее денег?

Стоимость теломеразной терапии будет низкой – благодаря огромному количеству пациентов, за счет которых амортизируются затраты на исследование и производство. Большая часть издержек теломеразной терапии будет приходиться даже не на исследование и производство, а на непосредственное использование – например, затраты на проведение процедуры в больнице. Эти затраты включают в себя накладные расходы больницы, страхование, зарплаты работников сферы здравоохранения и множество других, которые не связаны прямо со стоимостью терапии как таковой. По некоторым оценкам, теломеразная терапия будет стоить примерно столько же, сколько сейчас стоят вакцины – менее 100 долл. США за одну дозу. Даже при самых пессимистичных расчетах цена теломеразной терапии будет очень низкой, особенно по сравнению с затратами на лечение болезней, которые теломеразная терапия предотвратит или вылечит.

Результаты для общества

Вся ценность общества зависит от того, какие возможности предоставляет оно развитию индивидуальности.
Альберт Эйнштейн

Каждому отдельному человеку теломеразная терапия обещает здоровье, оптимизм и новый взгляд на жизнь. Вы уже не будете бояться будущего, чувствовать, что медленно идете к пропасти неизбежных болезней и инвалидности, понимать, что можете потерять свою независимость, здоровье, близких или – как, например, при болезни Альцгеймера, – даже остатки разума.

Вы хотите посмотреть мир? Выучить язык? Больше времени на исполнение мечты? У вас будет здоровье – и время, – чтобы сделать все, что вы так давно хотели. Но, как и в молодости, вам все равно нужно будет зарабатывать на жизнь. В настоящий момент большинство из нас работает максимум лет до 70, а потом остаток жизни живут на то, что удалось накопить, потому что ожидаемая продолжительность жизни не так уж сильно превышает пенсионный возраст. Но вот с теломеразной терапией вы сможете дожить, например, до 200 лет. Большинство из нас не смогут прожить 150 лет на деньги, которые удалось накопить за 40 лет работы. Но, с другой стороны, вы останетесь здоровыми и трудоспособными намного дольше. Сама работа тоже изменится. Зачем вам проводить еще полвека на работе, которая вам больше не нравится, когда можно просто взять уже имеющиеся накопления и вложить их в обучение и новую карьеру? Вы проживете достаточно долго, чтобы воспользоваться этим шансом – найти карьеру и жизнь, которые вам больше всего по душе. Возможно, вы даже сможете менять профессию несколько раз за долгую жизнь.

Семьи тоже изменятся: семейные связи будут простираться на четыре или пять живущих поколений. Мы любим своих детей, обожаем внуков, но сколько времени мы хотим провести, скажем, с праправнуками, которые на несколько поколений младше нас? Возможно, и отношение молодежи к старикам изменится, когда старики уже не будут развалинами. Станем ли мы мудрее благодаря десяткам и сотням лет опыта? Трудно сказать, но у нас уж точно будет намного больше знаний и опыта, которыми можно поделиться с молодежью. С самого начала своего существования человечество подчинялось одному жизненному циклу: взросление, брак, дети, старость. Но этот цикл изменится, а с ним – и многие социальные устои. Сколько браков продержатся 200 лет? Как семьи приспособятся к новым переменам? Какие новые обычаи придумают наши дети для удовлетворения потребностей стариков?

Как изменятся с продлением жизни более крупные общественные структуры и даже страны? Мы, конечно, будем заинтересованы в долгосрочном мире и процветании, но, с другой стороны, есть и опасность конфликта, замешанного на неравенстве, если жизнь продлевать будут только некоторым, а не всем. Теломеразная терапия настолько многообещающая и дешевая, что вряд ли приведет к увеличению медицинского неравенства, но, тем не менее, сама возможность уже несет в себе риск. Войны, как говорят, планируют старики, а сражается в них молодежь; обе группы достаточно изменятся, чтобы с этим изменилась и вероятность международных конфликтов. Как именно вероятность изменится, предсказать невозможно, но это жизненно важно для нашего будущего. Кроме того, есть шансы, что долгая жизнь продлит и те проблемы, которые обычно уходят вместе с поколением. С каждым десятилетием, проходящим после войны, становится все меньше связанных с ней террористических актов, преступлений, гнева и жажды мести – просто потому, что люди, которые помнят все это лично, постепенно умирают. Если жизни значительно продлить, нет ли опасности,

что подобная ненависть никуда не денется и продолжит влиять на национальную политику, провоцируя конфликты?

Впрочем, есть и более оптимистичные прогнозы. Мы, возможно, станем больше ценить долгосрочную стабильность экономики, чистоту окружающей среды и интересы наших детей, когда поймем, что теперь будем жить достаточно долго, чтобы увидеть результаты своих решений лично. Мы больше не сможем игнорировать долгосрочные последствия наших политических ходов. Национальная ответственность, которая раньше простиралась на 2–3 поколения, теперь будет ограничиваться одним. Нам придется самим жить и нести ответственность за национальные долги и обязанности. Раз у нас будет больше мотивации избегать влезания в долги, мы, скорее всего, станем больше инвестировать в будущее – науку, образование, самые разные исследования. Долгосрочные планы и инвестиции, например в космические лифты, добычу полезных ископаемых на астероидах или города на Луне, будут иметь и более близкие и заметные последствия.

Население планеты будет расти. Грубо говоря, расти оно будет примерно с той же скоростью, что и средняя продолжительность жизни, хотя мы уже сейчас боимся перенаселения. С другой стороны, рост населения не только замедляется практически во всех странах: из-за новейших расчетов ООН многие начали бояться *падения* численности населения в течение ближайшего столетия (и составлять соответствующие планы). В некоторых странах это происходит уже сейчас.

Во многих развитых странах наблюдается постепенно растущая экономическая проблема: все меньше молодых людей работают, чтобы содержать все большее число нетрудоспособных стариков. Теломеразная терапия решит эту проблему: старики больше не будут немощными и вполне смогут сами ухаживать за собой. Теломеразная терапия сулит беспрецедентную демографическую революцию: все больше здоровых взрослых людей будут участвовать в экономической жизни, предлагая ей свой богатый опыт и знания. Мы больше не будем хоронить это хранилище знаний: мы будем активно пользоваться им, чтобы улучшить нашу экономику и общество. Причем у каждого отдельного человека это хранилище знаний станет намного больше. Сегодня мы посвящаем высшему образованию и последующему обучению на работе лет 40–50 – или 60–70, если учитывать и пенсионный возраст. А теперь представьте, что получится, если у нас будет 150–200 лет. Пожилые люди будут хранителями огромных знаний, которые постоянно будут вкладываться в будущее.

Когда теломеразная терапия станет применяться в медицине повсеместно, нас ждет рост популяции здоровых, независимых старых людей и намного более эффективной рабочей силы.

ЭКОНОМИКА ДОЛГОЖИТЕЛЬСТВА

Ключевой экономической результат продления человеческой жизни состоит в том, что рабочая сила станет *более* продуктивной, *более* энергичной и *более* эффективной, когда мы сможем избавиться от возрастных заболеваний и улучшим здоровье людей. Теломеразная терапия предлагает одновременно повышение производительности труда и уменьшение затрат на здравоохранение и уход за престарелыми.

Тем не менее, некоторые проблемы непредсказуемы и вызывают вопросы. Насколько вырастет плотность населения? Что случится с рождаемостью? Насколько это повысит нагрузку на окружающую среду и усугубит связанные с ней экономические проблемы? Сможем ли мы достаточно быстро адаптировать к переменам нашу юриспруденцию, ожидания от пенсии и социальные сети? Если мы не сможем точно предсказать, насколько увеличится средняя продолжительность жизни – если предсказание станет невозможным, – то сможем ли справиться с общественными переменами «на лету»? Если мы не будем, по сути,

знать ничего о продолжительности жизни, болезнях и инвалидности, то можем столкнуться с такой финансовой нестабильностью, какой раньше нам видеть не доводилось. Как можно планировать собственное будущее, будущее компании, в которой вы работаете, или будущее наших общественных систем, если мы больше не можем пользоваться предположениями, которые всю жизнь принимали как должное?

Каждому человеку по отдельности теломеразная терапия несомненно принесет пользу, но вот что случится с обществом – пока неясно. Увеличение продолжительности здоровой жизни ничего не сделает ни с терроризмом, ни с нищетой, ни с предрассудками, ни с неудачами. Она может вылечить многие недуги нашего тела, но вот недугов общества не исправит. Даже вылечив болезни, мы все равно никуда не денемся от старого проклятия: «Чтоб тебе жить в эпоху перемен!» А скоро жизнь начнет меняться быстрее и быстрее. Из всех революций, которые уже случались в истории человечества – когнитивной, земледельческой, промышленной, – та революция, которая произойдет, когда мы научимся обращать старение вспять, окажется самой значительной. Теломеразная терапия дарит жизнь отдельным людям, но обществу дарит неуверенность.

Тем не менее, это, даже в самом худшем случае, – неуверенность, смешанная с надеждой.

Сочувствие и человеческая жизнь

Любовь исцеляет людей – и тех, кто ее дарит, и тех, кто получает.

Карл Меннингер

Главная задача обращения старости вспять – дать людям не дополнительные годы жизни, а сочувствие.

Наша жизнь – человеческая, общественная, семейная, личная – измеряется не годами, а качеством наших переживаний и глубиной личных отношений. Если жизнь заканчивается страданиями, зачем ее продлевать? Но, с другой стороны, если ваша жизнь – удовольствие для вас и тех, кто делит ее с вами, то почему бы и не продлить радость и счастье от здоровой жизни?

Жизнь намного дороже, а ее смысл – намного глубже, чем просто количество прожитых лет.

Во многом именно сочувствие к окружающим делает нашу жизнь – и жизнь тех, кому мы сочувствуем – достойной того, чтобы жить. Даже с современным медицинским уходом, новейшими технологиями и самыми компетентными врачами пациентам все равно нужно сочувствие. К друзьям мы ходим для того, чтобы пообщаться с теми, кто к нам неравнодушен, а не просто чтобы решить проблемы; точно так же и к врачам и в больницы мы идем за сочувствием, а не просто за диагностикой и терапией. Я не говорю, что медицинские знания вообще бесполезны – нужно просто на них смотреть с немного другой точки зрения.

Главный секрет ухода за пациентами – неравнодушие.

Общество, которое просто сводит к минимуму страдания, никак им не сочувствуя, обречено. Мы живем в обществе не потому, что надеемся просто избегнуть голода и болезней. Нам нужно делиться жизнью и любовью с окружающими. Рассматривать общество только с точки зрения экономических и финансовых терминов, или плотности населения, или экологических проблем – это не понимать сущности человеческой жизни. Сочувствие настолько же жизненно важно для общества – для здоровой культуры, – как и для хорошего медицинского ухода.

Что случится с нашей жизнью, когда мы обратим старение вспять?

Для многих самые важные вопросы будут такими: что мы сможем себе позволить? Как насчет населения? Что будет с окружающей средой? Эти вопросы действительно нужно рассмотреть со всей тщательностью и беспристрастностью, но для личной жизни и человеческой культуры эти проблемы – не ключевые. Ключевые проблемы – это сострадание, самоуважение и способность мечтать и надеяться. Главное различие между людьми и другими животными – в том числе нашими предками-гоминидами – в том, что мы умеем думать абстракциями; среди этих абстракций – сочувствие, уважение, мечты и надежды. Мы видим невидимое, чувствуем то, чего не можем коснуться, представляем то, чего не существует – и это делает нас людьми. Но есть у нас способность и еще важнее, чем представлять несуществующее: создавать это «несуществующее», претворять его в реальность. Мы мечтаем, не чтобы развлекаться, а чтобы улучшить себя. Мечты ценны и сами по себе, но превращать мечты в реальность намного полезнее. Сочувствие – это похвальная эмоция, но мы превращаем его из простой эмоции в объективную реальность, когда лечим болезни и дарим другим людям долгую, достойную жизнь.

Представьте будущее, в котором из-за чрезмерного роста населения и экономических проблем мы предоставляем медицинский уход только молодым. По достижении определенного возраста – скажем, 70 лет, – мы «сажаем людей на айсберг и отправляем в открытое море» просто потому, что считаем всех, кто старше этого возраста, неподъемной обузой для общества.

Представьте другое будущее, где в первую очередь уделяется внимание людям, и никаких возрастных ограничений для медицинского обслуживания не существует. Сколько бы вам ни было лет, вопрос будет состоять только в том, можем ли мы помочь вам, а не в том, можете ли вы помочь обществу.

Кто из нас захотел бы жить в мире, в котором с возрастом сочувствие просто отключается? Как общество может выжить, если оно обрекает людей на смерть и страдания просто потому, что они стары? Может ли вообще какая-нибудь культура выжить, легко смиряясь со смертью и болезнями?

Вскоре нам придется отвечать на эти вопросы, причем совсем не по тем причинам, о которых мы думали до последнего времени. Новые вопросы будут не о том, морально ли любой ценой поддерживать жизнь старых и часто страдающих людей. Они – о том, морально ли будет уничтожить страдания и продлить здоровую, энергичную и продуктивную жизнь. От того, какой выбор мы сделаем, будет зависеть не только наше личное будущее и культура, в которой мы будем жить. Здесь куда более серьезный вопрос: выживет ли наша культура с достоинством, или же погибнет в невежестве. Победа над старостью – это не просто продление жизни, это и духовная победа. У нас есть возможность предотвратить боль, страх, трагедии и потери. То, кем мы станем, зависит от того, как мы будем помогать окружающим, какими будут наши новые законы и наше общество.

Послесловие



Книгу отдадут в печать, но мир не стоит на месте.

В начале 2015 года я основал Telocyte, биотехнологическую компанию, которая будет воплощать в жизнь изложенное в книге видение. Проект предполагает беспрецедентные познания по части старения и патологии старения, навыками, чтобы применить терапию на практике, и все большее число людей – Питер Рэйсон, Мария Бласко и ее коллеги по СНИО, Ли Нолан – не только понимают, что с научной точки зрения мы уже способны вылечить болезнь Альцгеймера, но и делают свой личный вклад в это будущее – будущее без болезни Альцгеймера. Вместе мы собираемся воплотить наше видение в жизнь и гарантировать, чтобы никому не пришлось жить в страхе перед старостью и возрастными болезнями.

Нам уже мало теории.

Если вы хотите нам помочь, не стесняйтесь – свяжитесь с нами.

Словарь терминов



Аденовирусы. Семейство вирусов, вызывающих у людей болезни верхних дыхательных путей разной тяжести. Аденовирусы уже довольно давно являются популярными вирусными векторами для генной терапии.

Аденозинтрифосфат орная кислота (АТФ). Кофермент, транспортирующий химическую энергию внутри клеток для обмена веществ.

Анаболизм. См. Метаболизм.

Антиоксидант. Вещество, ингибирующее окислительные повреждения, наносимые клеткам свободными радикалами и другими окислительными молекулами.

Апластическая анемия. Болезнь, при которой организм перестает производить в достаточном количестве кровяные тельца, в том числе эритроциты, лейкоциты и тромбоциты.

Аполипопротеин Е4. Генетическая аллель, ассоциирующаяся с повышенным риском развития различных заболеваний, в том числе атеросклероза, болезни Альцгеймера, острого нарушения мозгового кровообращения (инсульта) и слишком быстрого укорочения теломер.

β-амилоиды. Пептиды, которые из-за старения микроглиальных клеток образуют бляшки, вызывающие гибель нейронов и болезнь Альцгеймера.

Бисфосфонаты. Лекарства, используемые для лечения остеопороза. Они замедляют (но не останавливают) потерю костной массы.

Вилочковая железа. Особый орган иммунной системы, являющийся источником Т-лимфоцитов – части адаптивной иммунной системы.

Вирусный вектор. Вирус, используемый для доставки терапевтической молекулы, например гена. Внутренняя часть вируса обычно удаляется и заменяется лекарством или терапевтическим геном, а внешняя оболочка вируса обеспечивает доставку лекарства или гена в нужные клетки.

Вирусы Коксаки. Распространенный тип вирусов, вызывающих многие человеческие вирусные инфекции, в том числе вирусный менингит.

Воспалительные биомаркеры. Содержащиеся в крови вещества, повышенный уровень которых указывает на развитие различных воспалительных заболеваний. *См., например, С-реактивный белок.*

Гемопоэтические клетки. Клетки (в том числе стволовые), которые производят все кровяные тельца.

Глиальные клетки. Клетки мозга, которые ремонтируют, поддерживают (и метаболически, и физически) и защищают нейроны (нервные клетки) мозга и периферической нервной системы. Они участвуют в развитии болезни Альцгеймера.

Гиперкоагуляция. Чрезмерная свертываемость крови.

Гомоцистеин. Аминокислота, высокие уровни которой связаны с повреждением клеток эндотелия, воспалением кровеносных сосудов, формированием бляшек и возникающими вслед за этим сердечно-сосудистыми заболеваниями.

Дофаминовые агонисты. Используются при попытках облегчить симптомы болезни Паркинсона. Пациенты с болезнью Паркинсона теряют дофаминовые нейроны, которые используют дофамин в качестве нейротрансмиттера.

Изомеризация. Многие сложные молекулы могут образовывать разные пространственные структуры, даже если их химическая структура остается неизменной. Это может происходить спонтанно, даже при нормальной температуре тела, и часто приводит к образованию молекул, уже не способных исполнять свои функции.

Ингибиторы фарнезилтрансферазы. Лекарства, используемые для подавления активности фермента фарнезилтрансферазы. С их помощью пробовали лечить прогеррию Гетчинсона – Гилфорда.

Инсулиновая резистентность. Проблема, типичная для диабета второго типа и у многих пожилых пациентов. Клетки не реагируют на инсулин так, как должны, даже если его уровень нормальный.

Ишемия. Состояние любой ткани, которая не получает достаточно крови, чтобы нормально функционировать. Ишемия обычно вызывается проблемами с кровеносными сосудами. Сердечные приступы и инсульты – примеры острой ишемии.

Кардиомициты. Мышечные клетки, из которых состоят сердечные мышцы.

Катаболизм. См. Метаболизм.

Кератиноциты. Самый распространенный тип клеток в эпидермисе. Эти клетки создают внешний слой кожи, который обычно быстро отшелушивается и постоянно заменяется клетками самого нижнего слоя эпидермиса.

Кора мозга. Внешнее «серое вещество» мозга, состоящее из нейронов, контролирующих движение, органы чувств и другие функции мозга.

Лейкоциты. Белые кровяные тельца. Это главные клетки иммунной системы, они циркулируют по всему организму.

Лептин. Гормон, регулирующий распределение жира и подавляющий чувство голода.

Лимфокины. Тип цитокинов, производимых лимфоцитами для контроля над функциями иммунной системы.

Липосома. Маленькая искусственная «сумочка» из липидных молекул, с помощью которой в клетки доставляется лекарство.

Метаболизм (обмен веществ). Химические реакции в клетках, которые поставляют энергию, а также создают и разрушают биологические молекулы. Обмен веществ состоит из двух частей: анаболизм – создание молекул, катаболизм – их разъединение.

Метилирование. Изменение ДНК, используемое для контроля экспрессии генов. В эпигенетических изменениях часто задействуется метилирование или похожие процессы.

Микроглия. Глиальная клетка, похожая на макрофаг и присутствующая в нервной системе. Старение этой клетки приводит к болезни Альцгеймера.

Нуклеотиды. Общий термин для четырех типов молекул, из которых состоит «язык» генетического кода нашей ДНК: аденин, гуанин, тимин и цитозин.

Одряхление. Биологическое старение. Соответствующий английский термин senescence часто используют по отношению к клеткам (а не к организмам).

Окислители. Химические вещества, окисляющие другие молекулы, забирая у них электроны. Пример – кислород, реагируя с железом, образует ржавчину. Если говорить о человеческой физиологии, то свободные радикалы вызывают окислительные повреждения клеток. См. Свободный радикал.

Основание. В химии – вещество, которое может реагировать с ионами кислорода, противоположность кислоте. В контексте этой книги – любой из четырех нуклеотидов, из которых состоит генетический код. См. также Нуклеотиды.

Перистальтика. Процесс мышечных сокращений, с помощью которых пища, а затем отходы продвигаются по пищеводу в желудок, а после – по кишечнику.

Плюрипотентные стволовые клетки. Стволовые клетки, которые могут дифференцироваться в любой тип клеток, встречающихся в человеческом теле.

Повторный стеноз. Рецидив стеноза – повторное сужение артерии после расширительного лечения. См. Стеноз.

Пролежни. Разрывы кожи, обычно возникающие у престарелых пациентов: когда какой-либо участок кожи слишком долго подвергается воздействию всего веса тела, это приводит к смерти тканей из-за отсутствия притока крови. Научное название – трофоневротический некроз.

Протеогликаны. Сложные вещества – отчасти белки, отчасти сложные сахара; из них состоит часть внеклеточного матрикса между клетками.

Протромбические мутации. Мутации, вызывающие избыточное образование тромбов.

Ресвератрол. Распространенное растительное вещество, содержащееся в винограде, чернике, малине и шелковице. Его рекламируют как полезное при лечении сердечно-сосудистых заболеваний и рака, а также для улучшения иммунитета и борьбы со старением, но данных, подтверждающих эффективность этого вещества для людей, довольно мало.

Саузерн-блот. Процесс, использующийся для разделения, детектирования и измерения биологических молекул, в том числе белков и ДНК, в лаборатории.

Свободный радикал. Атом, молекула или ион с неспаренными электронами. Из-за этого свободные радикалы склонны вступать в химические реакции, вызывая окислительный стресс.

Синовиальная жидкость. Вязкая жидкость, окружающая суставы (колени, бедра, лодыжки, кисти рук, локти, плечи). Уменьшает трение между артикулярными поверхностями во время движения.

Соматические клетки. Любые клетки, формирующие тело организма, в противоположность половым клеткам, отвечающим за размножение (сперматозоидам и яйцеклеткам).

Стеноз. Сужение кровеносного сосуда, приводящее к уменьшению кровотока.

T-белки. Белки, в избытке содержащиеся во многих нейронах. Ненормальные т-белки («клубки») часто находят у пациентов с болезнью Альцгеймера.

Теломеры. ДНК-структуры на концах хромосом, которые укорачиваются с каждым делением клетки.

Токоферолы. Жирорастворимые вещества с действием, подобным витамину Е. Группу токоферолов можно коллективно назвать витамином Е.

Тучные клетки. Специализированные иммунные клетки, часто связанные с аллергиями и воспалениями.

Умами. Один из пяти основных вкусов (остальные четыре – сладкий, кислый, горький и соленый). Люди часто описывают вкус умами как «мясной» или «суповой».

Ферменты. Биологические катализаторы, которые ускоряют химические реакции в клетках. Клетки производят три типа белков: ферменты (которые выполняют всю работу), структурные белки и белки, которые действуют как гормоны.

Фибрилляция предсердий. Нерегулярное сердцебиение, которое повышает риск инсульта и других осложнений.

Фибробласт. Один из самых распространенных типов клеток в организме. Они производят коллаген, эластин и другие внеклеточные белки. Кроме того, они создают другие клетки (в частности, жировые), соединительную ткань и ремонтируют поврежденные ткани.

Хвостатое ядро. Ядро в основании мозга, отвечающее за произвольные движения.

Хондроциты. Клетки, выстилающие поверхность суставов. Они делают суставы гладкими и предотвращают трение, делая возможным нормальное движение.

Целлюлит. Поверхностная бактериальная инфекция кожи, обычно лечится приемом антибиотиков.

C-реактивный белок. Белок в крови, указывающий на наличие воспаления.

Цитокины. Небольшие белки, выделяющиеся клетками для контроля соседних клеток.

Цитомегаловирус человека. Распространенный вирус, который присутствует у большинства людей и обычно остается незамеченным; в редких случаях вызывает тяжелые болезни у взрослых.

Цитотоксичные клетки. Клетки иммунной системы, токсичные для некоторых других типов клеток, в частности, раковых.

Черная субстанция. Глубокое ядро мозга, контролирующее движения. Обычно повреждается при болезни Паркинсона.

Эндартерэктомия сонной артерии. Процедура, при которой путем удаления бляшек расширяется суженная сонная артерия; используется для профилактики инсультов.

Эозинофилы. Лейкоциты, которые борются с паразитами и некоторыми другими инфекциями. См. Тучные клетки.

Благодарности



Нет писателя, который был бы, как остров. Мои идеи, верные или нет, – это мои идеи, но книгу удалось написать благодаря тем, кто поверил в собственные данные (Лену Хейфлику и Марии Бласко), в меня (моей жене Джой) или в саму книгу (Гленну Йеффету и Дейву Бессмеру).

Работа, которая вырастет из всего этого – попытки вылечить человеческие болезни, – не состоялась бы без тех, кто верил в ее перспективы, особенно Марии Бласко, но также Питера Рэйсона, Брэда Эдвардса и Ли Нолана. Ради тех, кто надеется на нас, пусть мы окажемся правы.

Мир зависит не от того, что мы думаем или пишем, а от того, что мы доказываем.

Об авторе



Доктор Майкл Фоссел получил степени кандидата наук и доктора медицины в Стэнфордском университете, где преподавал нейробиологию и исследовательские методы. Фоссел – стипендиат Национального научного фонда США, в течение почти 30 лет работал профессором клинической медицины, а также исполнительным директором Американской ассоциации антистарения и основателем и редактором журнала *Rejuvenation Research*. В 1996 году он написал первую книгу о теломерной теории старения, *Reversing Human Aging*, где рассказал о перспективах, которые сулит удлинение теломер: победа над старением и излечение возрастных заболеваний. Фоссел – автор более 60 научных статей и единственного медицинского учебника, посвященного использованию теломер в клинической терапии: *Cells, Aging, and Human Disease* (Oxford University Press, 2004). Его очень уважают за уникальный университетский курс «Биология старения».

Главный мировой эксперт по клиническому использованию теломеразы для лечения возрастных заболеваний, он читал лекции в Национальном институте здравоохранения и Смитсоновском институте и до сих пор выступает с лекциями в университетах, институтах и на конференциях по всему миру. У него брали интервью для Good Morning America, ABC 20/20, NBC Extra, Fox Network, CNN, BBC, канала Discovery и NPR.

Сейчас он работает над испытаниями теломеразы на людях для лечения болезни Альцгеймера.

Официальный сайт доктора Майкла Фоссела – www.michaelfossel.com.