

АМИНОКИСЛОТЫ В ПИТАНИИ ЧЕЛОВЕКА

Лысыков Ю.А.

ГУ Институт питания РАМН, Москва

Лысыков Юрий Александрович
109240 Москва, Устьинский проезд, д. 2/14
E-mail: yl20@mail.ru

РЕЗЮМЕ

В статье представлены данные о метаболизме аминокислот в организме человека. Рассмотрена структура и свойства аминокислот, критерии незаменимости, вклад аминокислот в энергетику организма, специфические функции аминокислот, потребность в аминокислотах.

SUMMARY

The article presents data on amino acids metabolism in human organism. The review described structure and function of amino acids, essentiality criteria, amino acids energy source role, amino acids specific functions, amino acids requirements.

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА АМИНОКИСЛОТ

Известно около 200 природных аминокислот, из них только 20 входят в состав белков. Эти аминокислоты называют **протеиногенными** — строящими белки. В организме человека наряду с протеиногенными аминокислотами можно найти и другие, которые играют иную роль, например, **орнитин**, **β -аланин**, **таурин** и др.. Многие из протеиногенных аминокислот в организме человека выполняют важные самостоятельные функции, например, **глицин**, **глутаминовая** и **аспарагиновая** кислоты являются биологически активными соединениями, **фенилаланин**, **тирозин** и **триптофан** служат источником образования **биогенных аминов** и других биорегуляторов, **глицин** и **таурин** входят в состав желчных кислот.

Первая аминокислота, **аспарагин**, была открыта еще в 1806 году. Последней из обнаруженных известных аминокислот оказался **треонин**, который

удалось выделить лишь в 1938 году. Каждая аминокислота имеет тривиальное (традиционное) название, иногда связанное с источником происхождения. Например, **аспарагин** впервые был обнаружен в **аспарагусе**, **глутаминовая кислота** — в клейковине (глутене) пшеницы. **Глицин** был назван так за сладкий вкус (от греческого *glykos* — сладкий). В пищевых продуктах наиболее распространены 22 аминокислоты.

Все 20 аминокислот, которые входят в состав белка, характеризуются общей структурной особенностью — наличием **карбоксильной** группы ($-\text{COOH}$) и **аминогруппы** ($-\text{NH}_2$), связанной с одним и тем же атомом углерода и различаются структурой боковых цепей (**R-групп**) (рис. 1). Почти все аминокислоты содержат по одной карбоксильной и аминогруппе. Однако имеются аминокислоты, которые могут содержать две карбоксильные (**дикарбоновые** аминокислоты) или две аминогруппы (**диаминоаминокислоты**). Большинство аминокислот являются **α -аминокислотами**, в отличие от **β -аминокислот**, таких как **β -аланин** и **таурин**.

Стереоизомеры аминокислот. Из-за асимметрии молекулы все α -аминокислоты, за исключением

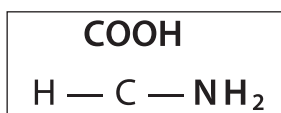


Рис. 1. Общая структурная формула аминокислоты

глицина, могут существовать в форме двух **D-** или **L-стереоизомеров** — оптических изомеров, которые представляют собой зеркальные изображения друг друга. В ходе биосинтеза белка в его состав попадают только L-аминокислоты. Следует подчеркнуть, что присутствие в составе белка L-аминокислот определяет его структуру и свойства. D-аминокислоты **никогда** не включаются в белки в процессе биосинтеза. В то же время в составе белка можно обнаружить и D-аминокислоты. Причина этого парадокса

заключается в том, что для аминокислот характерна медленная самопроизвольная **неферментативная рацемизация**, в результате которой в составе белка появляются D-аминокислоты. По этой причине структура белка со временем начинает меняться, могут изменяться и его свойства. Это является одним из механизмов старения белков, что вызывает необходимость их непрерывного обновления.

Таблица 1

КЛАССИФИКАЦИЯ АМИНОКИСЛОТ [2; 3]					
Химическая структура	Полярность боковой цепи	Изоэлектрическая точка pI	Молекулярная масса, г/моль	Степень гидрофильности	Полярность боковой цепи
1. Алифатические				Высокогидрофильные	
Аланин	-1,9	6,0	89	Глютамин	+9,4
Валин*	-2,0	6,0	117	Аспарагин	+9,7
Глицин	-2,4	6,0	75	Глютаминовая кислота	+10,2
Изолейцин*	-2,2	5,9	131	Гистидин	+10,3
Лейцин*	-2,3	6,0	131	Аспарагиновая кислота	+11,0
2. Серосодержащие				Лизин*	+15,0
Метионин*	-1,5	5,7	149	Аргинин	+20,0
Цистеин	-1,2	5,0	121	Умеренно гидрофильные	
3. Ароматические				Треонин*	+4,9
Тирозин	+6,1	5,7	181	Серин	+5,1
Триптофан*	+5,9	5,9	204	Триптофан*	+5,9
Фенилаланин*	+0,8	5,5	165	Пролин	+6,0
4. Оксиаминокислоты				Тирозин	+6,1
Серин	+5,1	5,7	105	Высокогидрофобные	
Треонин*	+4,9	5,6	119	Цистеин	-1,2
5. Дикарбоновые (кислые)				Метионин*	-1,5
Аспарагиновая кислота	+11,0	2,8	133	Аланин	-1,9
Глютаминовая кислота	+10,2	3,2	147	Валин*	-2,0
6. Амиды дикарбоновых кислот				Изолейцин*	-2,2
Аспарагин	+9,7	5,4	132	Лейцин*	-2,3
Глютамин	+9,4	5,7	146	Глицин	-2,4
7. Диаминоаминокислоты (основные)				Фенилаланин*	+0,8
Аргинин	+20,0	10,9	174		
Гистидин	+10,3	7,6	155		
Лизин*	+15,0	9,7	146		
8. Иминокислота					
Пролин	+6,0	6,3	115		

Примечание: * — незаменимые аминокислоты.

Биосинтез L-аминокислот в клетках организма происходит с помощью *стереоспецифических ферментов*, которые имеют асимметричные активные центры. При химическом синтезе аминокислот с одинаковой скоростью образуются как D-, так и L-стереоизомеры. В результате получается *рацемическая* (одинаковая по составу) смесь разных стереоизомеров аминокислот. Рацемическую смесь аминокислот можно разделить на D- и L-стереоизомеры, но это дорого. Поэтому полученные искусственным путем препараты аминокислот могут содержать не только необходимые организму L-аминокислоты, но и D-стереоизомеры. Полные гидролизаты белков будут содержать только L-стереоизомеры аминокислот. В природе встречаются и некоторые D-аминокислоты, которые входят в состав пептидных антибиотиков и клеточных стенок бактерий [1].

По химической структуре можно выделить 8 классов аминокислот (табл. 1):

1. **Алифатические** аминокислоты (**аланин, валин, глицин, изолейцин и лейцин**) отличаются тем, что их боковые цепи содержат лишь атомы углерода и водорода.

У **валина, изолейцина и лейцина** боковая цепь разветвляется, их еще называют **аминокислотами с разветвленной цепью**.

2. **Серосодержащие** аминокислоты (**метионин и цистеин**) содержат атомы серы. При этом место серы может занимать атом селена.

3. **Ароматические** аминокислоты (**тирозин, триптофан и фенилаланин**) содержат ароматические циклические группы.

4. **Оксиаминокислоты** (**серин и треонин**) содержат -ОН-группы.

5. **Дикарбоновые** аминокислоты (**аспарагиновая и глутаминовая кислоты**) содержат две карбоксильные группы

6. **Амиды дикарбоновых** аминокислот (**аспарагин и глутамин**) содержат атом азота в составе второй карбоксильной группы.

7. **Диамино-, или двусосновные,** аминокислоты (**аргинин, гистидин и лизин**) содержат две аминогруппы.

8. «Аминокислота» **пролин** занимает особое положение, поскольку, аминокислотой не является. По своей структуре это *иминокислота* и включает циклическое *имидазольное* кольцо. Благодаря циклической группе **пролин** вызывает изгибы в полипептидной цепочке белка, что очень важно, например, для структуры белка соединительной ткани **коллагена**, где пролина очень много.

Благодаря наличию карбоксильной и аминогруппы в водных растворах все аминокислоты **ионизированы** и ведут себя одновременно как кислоты и как основания. В водной среде организма свободные аминокислоты играют роль буферных веществ, стабилизируя pH среды. При этом растворимость в воде и степень *гидрофильности* разных аминокислот существенно различается. **По степени**

гидрофильности — способности связывать молекулы воды аминокислоты можно разделить на [2]:

1. **Высокогидрофильные: аспарагин, аспарагиновая кислота, аргинин, гистидин, глутамин, глутаминовая кислота и лизин**, которые почти всегда располагаются на внешней поверхности молекул белка.

2. **Умеренно гидрофильные: пролин, серин, тирозин, треонин и триптофан**. Они занимают промежуточное положение, отличаясь определенной гидрофильностью.

3. **Гидрофобные: аланин, валин, глицин, изолейцин, лейцин, метионин, цистеин и фенилаланин**, которые располагаются в основном внутри молекул белка.

Гидрофильность аминокислот во многом зависит от их **полярности**, которая связана с величиной заряда их боковых групп. Пять алифатических аминокислот (**аланин, валин, глицин, изолейцин и лейцин**) содержат **слабо полярные** боковые группы. Слабую полярность имеют серосодержащие аминокислоты (**метионин и цистеин**), а также одна из ароматических аминокислот — **фенилаланин**. Благодаря гидрофобности эти аминокислоты плохо растворяются в воде. Остальные аминокислоты содержат заряженные положительно **полярные** боковые группы и поэтому они более гидрофильны и хорошо растворяются в воде. Полярность аминокислот оказывают существенное влияние на структуру белка, его свойства и функции. Следует подчеркнуть, что большинство гидрофобных аминокислот являются **незаменимыми (валин, изолейцин, лейцин, метионин и фенилаланин)**. Две других незаменимых аминокислоты (**треонин и триптофан**) отличаются умеренной гидрофильностью.

Онкотическое давление. Гидрофобные аминокислоты, как правило, располагаются **внутри** молекулы белка, тогда как гидрофильные — **на внешней поверхности**, что делает гидрофильными и хорошо растворимыми в воде молекулы белка. Благодаря этому свойству белки хорошо связывают воду, удерживая жидкость в крови, в межклеточном пространстве и внутри клеток. Гидрофильность белков крови обеспечивают онкотическое давление, которое удерживает жидкость в кровеносных сосудах. При уменьшении содержания белка в организме человека в первую очередь уменьшается количество плазменных белков, что приводит к снижению онкотического давления крови, выходу жидкости из кровеносной системы в межклеточное пространство, что может приводить к возникновению безбелковых (голодных) отеков. Гидрофильность пищевых белков обеспечивает их способность набухать, образовывать студни, эмульсии и пены. Гидрофильность белков клейковины злаков определяет качество зерна и его хлебопекарные свойства.

Нестандартные аминокислоты в составе белка. Кроме 20 стандартных аминокислот, которые присутствуют почти во всех белках, существуют так называемые нестандартные аминокислоты, которые

встречаются лишь в некоторых из них. Причем, каждая из этих аминокислот представляет собой производное одной из обычных. К нестандартным аминокислотам относят: производное **пролина** — **4-гидроксипролин** и **5-гидроксипролин**. Обе аминокислоты входят в состав **коллагена**. В мышечном белке **миозине** присутствует производное **лизина** — **N-метиллизин**. Другое производное **лизина** — аминокислота **десмозин** (комплекс из четырех молекул лизина — тетрапептид) содержится только в фибриллярном белке соединительной ткани — **эластине**. В белке **протромбине**, а также в некоторых других белках, которые активно связывают ионы кальция, присутствует **γ -карбоксиглютаминная кислота**.

Особо следует остановиться на серосодержащей аминокислоте **цистеине**. Она может находиться в составе белка в двух формах: либо в форме **цистеина**, либо в форме дипептида — **цистина**, который представляет собой комплекс из двух молекул цистеина, ковалентно связанных друг с другом при помощи **дисульфидного мостика**. Благодаря этому свойству цистеин выполняет важную функцию по стабилизации структуры белковой молекулы. **Цистеин** играет ключевую роль в формировании инсулина и иммуноглобулинов (антител). В этих белках благодаря дисульфидным цистеиновым мостикам соединяются разные полипептидные цепи в одну молекулу белка. Такие поперечные связи обычно отсутствуют во внутриклеточных белках, но широко представлены в секреторных белках. Разрушение дисульфидных связей в **кератине**, формирующем структуру волос, лежит в основе процесса химической завивки. Для этого используют **тиоловые** соединения, под действием которых происходит разрыв поперечных дисульфидных связей в кератине. После укладки волос действие кислорода воздуха приводит к образованию новых поперечных связей, которые закрепляют новую форму волос.

Функциональная классификация аминокислот. С физиологических позиций аминокислоты можно разделить на:

- **Протеиногенные**, которые входят в состав белка (20 аминокислот), и **непротеиногенные**, не входящие в состав белка, но выполняющие в организме человека другие важные функции.
- **Заменимые** (8 аминокислот) и **незаменимые** (12 аминокислот). О них мы будем говорить ниже.
- **Глюкогенные**, которые превращаются в **глюкозу** и далее в гликоген или расщепляются по пути метаболизма глюкозы с образованием АТФ. Глюкогенными, в той или иной степени, являются подавляющее большинство — 19 аминокислот, за исключением **лейцина**.
- **Кетогенные**, которые могут превращаться в **кетоновые тела** (короткоцепочечные жирные кислоты). Кетогенными являются 6 аминокислот: **изолейцин, лейцин, лизин, тирозин, триптофан и фенилаланин**.

АМИНОКИСЛОТЫ КАК ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ

Известно, что при полном окислении 1 г белка (или смеси аминокислот) в калориметрической бомбе в среднем образуется 5,65 ккал. Углерод аминокислот окисляется до CO_2 , водород — до H_2O , а азот — до NO_2 . Однако в организме человека энергию в форме АТФ можно получить только при окислении углеводородной составляющей аминокислот. Поэтому из 5,65 ккал организму будут доступны только 4,3 ккал, а оставшаяся часть (1,3 ккал) является энергией окисления азота. В настоящее время установлено, что действительная энергетическая ценность белка колеблется от 1,82 до 4,27 ккал/г, однако за эталон принимают цифру 4,0 ккал/г [4]. Существенные различия в энергетической ценности белка связаны, с одной стороны, с различной молекулярной массой аминокислот, а с другой — с разными путями и механизмами их окислительного метаболизма (рис. 2).

Считают, что белки (аминокислоты) могут обеспечить 11–14% энергии суточного рациона. Например, при суточной калорийности в 2500 ккал на белок может приходиться 275–350 ккал, что должно соответствовать 69–88 г белка. Однако все пищевые аминокислоты не могут полностью окисляться с образованием энергии. Значительная часть энергии теряется в процессе кругооборота и метаболизма аминокислот. Поэтому эффективность использования энергии пищи организмом человека, как полагают, составляет около 20–25% [4].

Аминокислоты мышечных белков, а также сывороточные и другие белки являются важным источником образования глюкозы и метаболической энергии в форме АТФ. При длительном голодании это приводит к массивному распаду мышечного белка и снижению содержания белка и его фракций в сыворотке крови. Диеты с низким (недостаточным) количеством углеводов также ведут к деградации мышечных и сывороточных белков.

В биосинтезе глюкозы участвуют в основном заменимые аминокислоты — 10–25% и только 1% незаменимых аминокислот. В организме человека углеродные скелеты некоторых аминокислот могут непосредственно превращаться в **пируват** или в промежуточные продукты цитратного цикла (**оксалоацетат, сукцинил-КоА, кетоглутарат и фумарат**) с освобождением энергии в дыхательной цепи митохондрий (табл. 2). При этом **оксалоацетат** может превращаться в **фосфоенолпируват** и по пути глюконеогенеза — в **глюкозу**. Источником глюкозы может стать и **пируват** [5]. Таким образом, разные глюкогенные аминокислоты могут включаться в пути обмена глюкозы (гликолиз и глюконеогенез) на разных его этапах. Судьба разных аминокислот

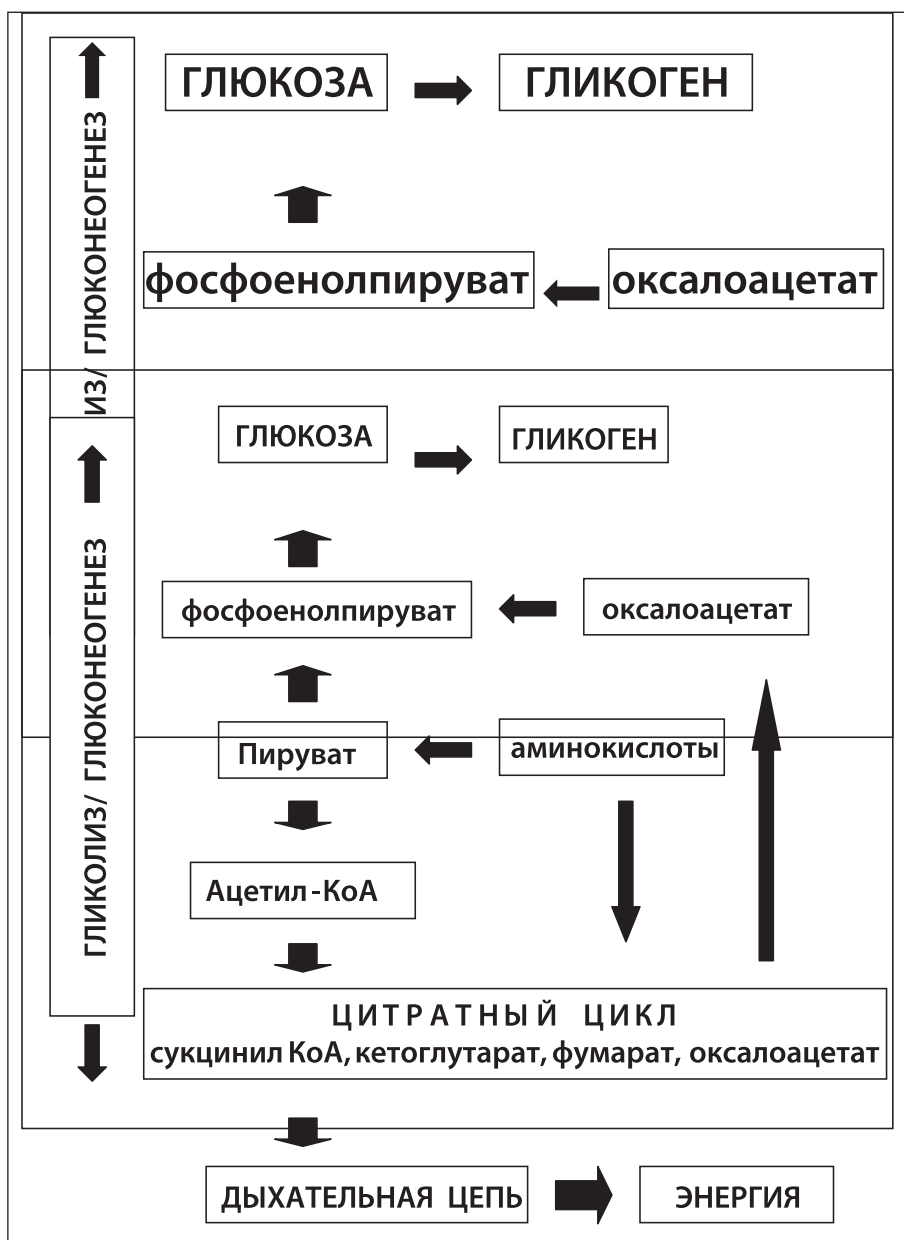


Рис. 2. Пути метаболизма глюкогенных аминокислот

неодинакова: одни из них могут превращаться в глюкозу и далее в гликоген, тогда как другие, минуя глюкозу, могут непосредственно окисляться до CO_2 и H_2O с образованием АТФ.

Установлено, что из 100 г аминокислот может образовываться только 57 г глюкозы. При голодании в первые 3–4 дня из аминокислот в среднем в сутки образуется около 41 г глюкозы, а спустя несколько недель голодания образование глюкозы снижается до 16 г в сутки. При сахарном диабете 2-го типа превращение глюкогенных аминокислот в глюкозу происходит с гораздо большей скоростью, чем у здоровых людей [5]. Как следствие этого у больных диабетом с мочой выводится большое количество мочевины, которая образуется при дезаминировании глюкогенных аминокислот. В критических состояниях скорость глюконеогенеза с использованием аминокислот также существенно возрастает.

Среди аминокислот наиболее эффективно превращаются в глюкозу **серин, аланин и пролин**, тогда как **глутамин**, который широко используется в энтеральном и парентеральном питании, стоит на четвертом месте (табл. 3).

Важную роль в процессах глюконеогенеза играет так называемый **цикл аланина**, который характерен для мышечной ткани (рис. 3). При дефиците глюкозы в организме или при голодании усиливается катаболизм мышечных белков с освобождением свободных аминокислот, около 50% которых составляет **аланин** [2]. Аланин поступает в печень, где из него образуется **пируват**, который включается в глюконеогенез. Когда в мышечной ткани возобновляется биосинтез белка, возникает потребность в аланине, который начинает синтезироваться из **пирувата**. В свою очередь источником пирувата является **глюкоза**, из которой он образуется в результате гликолиза. Таким образом, аланин завершает свой кругооборот:

НЕЗАМЕНИМОСТЬ АМИНОКИСЛОТ

Говоря о значении различных аминокислот для организма человека, необходимо рассмотреть понятие **незаменимости**. Основным критерием в определении биологической ценности аминокислот является их способность **поддерживать рост** животных и человека, что связано с биосинтезом белка в организме. Исключение из пищевого рациона хотя бы одной из таких аминокислот, при сохранении содержания остальных, влечет за собой задержку роста и снижение массы тела растущего организма. Поэтому **незаменимыми** аминокислотами считают такие, которые *либо не синтезируются в организме, или синтезируются со скоростью, недостаточной или не соответствующей* обмену веществ,

обеспечивающих пластические и регенеративные процессы, связанные с образованием новых клеток и тканей» [6].

Согласно классическим исследованиям *Rose*, для взрослого здорового человека жизненно необходимыми являются 8 аминокислот, которые стали считать **незаменимыми** (табл. 4). Полагают, что эти аминокислоты не образуются в организме человека и обязательно должны поступать с пищей.

Остальные 12 аминокислот считают **заменимыми**. К ним относят: *аланин, аргинин, аспарагин, аспарагиновую кислоту, гистидин, глицин, глютамин, глютаминовую кислоту, пролин, серин, тирозин и цистеин*. Эти аминокислоты, как полагают,

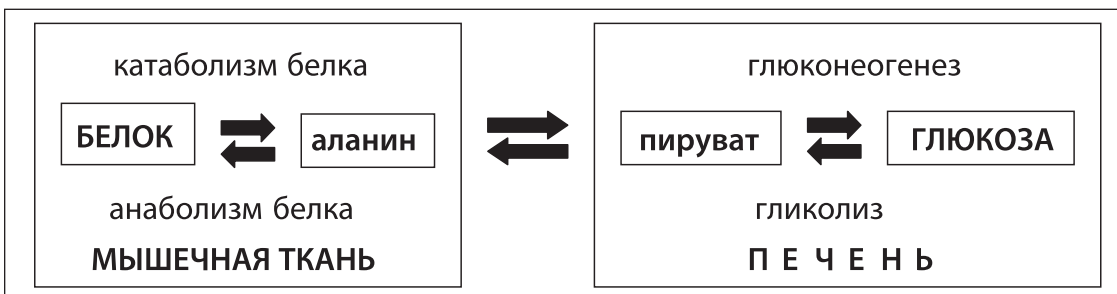


Рис. 3. Цикл аланина

Таблица 2

СУДЬБА ГЛЮКОГЕННЫХ АМИНОКИСЛОТ [5]		
Аминокислоты	Превращаются в:	Результат
Аланин, глицин, серин, треонин, цистеин	Пируват	Глюкоза/АТФ
Аспарагин, аспарагиновая кислота	Оксалоацетат	Глюкоза/АТФ
Валин, изолейцин, метионин, триптофан	Сукцинил-КоА	АТФ
Аргинин, гистидин, глютамин, глютаминовая кислота, пролин	Кетоглутарат	АТФ
Аспарагиновая кислота, тирозин, фенилаланин	Фумарат	АТФ

Таблица 3

СКОРОСТЬ ГЛЮКОНЕОГЕНЕЗА В ПЕЧЕНИ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ [5]			
Предшественник	Образование глюкозы мк моль/мин г ткани	Предшественник	Образование глюкозы, мкмоль/мин г ткани
Фруктоза	2,68	Глутамин	0,45
Диоксиацетон	2,07	Треонин*	0,40
Лактат	1,06	Глутамат	0,31
Пируват	1,02	Аргинин	0,27
Серин	0,98	Аспарат	0,23
Аланин	0,66	Изолейцин*	0,22
Пролин	0,55	Орнитин	0,19
Глицерин	0,48	Валин*	0,12

Примечание: * — незаменимые аминокислоты.

способны синтезироваться в организме человека в достаточном количестве. Наряду с этим выделяют группу аминокислот, которые необходимы человеку в определенные периоды развития и в некоторых физиологических и клинических ситуациях. Эти аминокислоты относят к **условно незаменимым** (табл. 5).

Другим критерием значимости и биологической ценности аминокислот считают степень их участия в обеспечении **азотистого равновесия**. Имеются данные о целесообразности выделения третьей группы аминокислот, обладающих свойствами **ускорять рост**. К их числу относят 7 аминокислот: **аргинин, глутаминовую кислоту, пролин, серин, тирозин, триптофан и цистеин**.

Заслуживает внимание классификация аминокислот, предложенная *Josue de Castro*, который разделил их на две группы. В первую группу вошли 5 аминокислот, обеспечивающие **рост: аргинин, гистидин, лизин, пролин и цистеин**. Во вторую — другие 5 аминокислот, которые необходимы для **регенерации** тканей: **аспарагиновая и глутаминовая кислоты, тирозин, триптофан и фенилаланин** [6].

А.Э. Шарпенак относил к незаменимым 12 аминокислот: **аргинин, валин, гистидин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, тирозин, треонин, триптофан, фенилаланин и цистеин**. По данным *Eagle*, для культивирования клеток животных и человека необходимы те же 12 аминокислот, но с заменой **треонина на глутамин** [6].

Таблица 4

НЕЗАМЕНИМЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ [6]							
Автор	Rose	Условно незаменимые	Ускоряют рост	Jose de Castro	А.Э. Шарпенак	Eagle, 1958	
Число	8	6	7	10	12	12	
Аминокислоты	Валин	Аспарат	Аргинин	Рост	Аргинин	Аргинин	
	Изолейцин	Гистидин	Глутамат	Аргинин	Валин	Валин	
	Лейцин	Глутамин	Пролин	Гистидин	Гистидин	Гистидин	
	ЛИЗИН*	Таурин	Серин	Лизин	Изолейцин	Изолейцин	
	Метионин	Тирозин	Тирозин	Пролин	Лейцин	Лейцин	
	ТРЕОНИН*	Цистеин	Триптофан	Цистеин	Лизин	Лизин	
	Триптофан		Цистеин	Регенерация	Метионин	Метионин	
	Фенилаланин			Аспарат	Тирозин	Тирозин	
	Абсолютно заменимые				Глутамат	Треонин	Глутамин
					Тирозин	Триптофан	Триптофан
	ГЛЮТАМАТ				Триптофан	Фенилаланин	Фенилаланин
СЕРИН				Фенилаланин	Цистеин	Цистеин	

Примечание: * — абсолютно незаменимые аминокислоты.

Таблица 5

ФУНКЦИИ УСЛОВНО НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ	
Аминокислота	Функции в организме
Аспарат	Необходим для процессов регенерации
Гистидин	Необходим для маленьких детей, у которых эндогенный синтез недостаточен
Глутамин	Необходим для процессов регенерации, является важным энергетическим субстратом в критических состояниях
Таурин	Необходим для новорожденных, у которых эндогенный синтез недостаточен, а также для больных в критических состояниях. Дефицит возникает при недостатке метионина и цистеина
Тирозин	Необходим для маленьких детей, у которых эндогенный синтез недостаточен. При нарушении функции почек снижено образование тирозина из фенилаланина
Цистеин	Необходим для маленьких детей, у которых эндогенный синтез недостаточен. Дефицит возникает при недостаточном содержании метионина в питании. Крайне необходим при нарушениях функции печени и для больных в критических состояниях

В основе разногласия в определении важности и незаменимости тех или иных аминокислот лежат особенности их биосинтеза и метаболизма в организме человека. За исключением двух аминокислот — **лизина** и **треонина**, которые являются у человека **абсолютно незаменимыми**, остальные «незаменимые» аминокислоты в определенных количествах могут синтезироваться за счет реакций **трансаминирования**, но объем их синтеза является **недостаточным**.

Ряд незаменимых аминокислот являются предшественниками для синтеза заменимых. Например, из незаменимой аминокислоты **фенилаланина** синтезируется заменимая аминокислота **тирозин**, а из незаменимого **метионина** — заменимый **цистеин**. Установлено, что до 80–89% **метионина** может трансформироваться в цистеин, а 70–75% **фенилаланина** — в тирозин [2]. По этой причине незаменимых аминокислот **метионина** и **фенилаланина** требуется больше, так как существенная их часть должна расходоваться на образование **цистеина** и **тирозина**. Аминокислоты **цистеин** и **тирозин** по своему физиологическому значению близки к незаменимым аминокислотам, к которым их относили ранее. Таким образом, поступление с пищей **цистеина** и **тирозина** позволяют сократить потребность в незаменимых аминокислотах **метионине** и **фенилаланине**.

С метаболических позиций **абсолютно заменимыми** являются **глутаминовая кислота** и **серин**, которые в необходимых количествах синтезируются из кетокислот. Биосинтез остальных «заменяемых» аминокислот в организме человека **ограничен**. По этой и другим причинам полностью обеспечить потребность организма только за счет биосинтеза большинства заменимых аминокислот **невозможно**. Важно подчеркнуть, что потребность организма в белке, а стало быть, в аминокислотах — есть величина **переменная**, которая изменяется на протяжении жизни и может резко возрастать при очень многих физиологических и патологических состояниях.

Подводя итог спорам о важности и незаменимости тех или иных аминокислот, следует подчеркнуть:

- Во-первых, ценность тех или иных аминокислот определяется возможностью их **биосинтеза** в организме. При этом часть незаменимых аминокислот может синтезироваться в организме, но объем их биосинтеза **недостаточен**. Разумеется, те аминокислоты, которые ни при каких условиях не образуются в организме и являются абсолютно незаменимыми, должны непрерывно поступать с пищей. Возможности запасаания и резервирования лимитирующих аминокислот в составе мышечных белков, альбумина или других белков **ограничены**.
- Во-вторых, некоторая часть незаменимых аминокислот, помимо пищи, может образовываться при **микробиологическом синтезе** кишечной микрофлорой и поступать во внутреннюю среду организма.

- В-третьих, физиологическая потребность в незаменимых аминокислотах есть величина **переменная** и может изменяться в зависимости от активности процессов анаболизма и катаболизма белка, которые, в свою очередь, зависят от уровня физической активности, особенностей обмена веществ, состояния здоровья.
- В-четвертых, обеспечение организма белком и незаменимыми аминокислотами зависит не только от **качества**, но и **режима** питания, а также от содержания других компонентов пищевого рациона, например, углеводов.

Заменимые аминокислоты занимают достаточно большой удельный вес в составе белков пищи — до 2/3 суммы аминокислот. В организме человека они выполняют весьма важные функции, причем многие из них играют не меньшую роль, чем незаменимые аминокислоты. Следует подчеркнуть, что хотя заменимые аминокислоты могут образовываться в организме, однако за счет эндогенного биосинтеза обеспечивается лишь **минимальная** потребность организма. Более того, установлено, что при небольшом потреблении белка в том случае, когда потребность в незаменимых аминокислотах удовлетворяется полностью, **лимитирующими** становятся **заменяемые** аминокислоты [6]. Для обеспечения стабильного азотистого равновесия в организме необходимо примерно в 2 раза больше качественного белка, чем для того, чтобы закрыть потребность в незаменимых аминокислотах. Таким образом, хотя заменимые аминокислоты не являются лимитирующим фактором в белковом питании, но их присутствие в питании также является обязательным. Поступление достаточного количества заменимых аминокислот в составе белков пищи является тем путем, с помощью которого можно обеспечить их оптимальную физиологическую потребность, более легкое и быстрое использования для нужд организма.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОТДЕЛЬНЫХ АМИНОКИСЛОТ

В организме человека аминокислоты, помимо строительства белковых молекул, выполняют еще целый ряд важных функций:

- Участвуют в образовании других аминокислот.
- Входят в состав разных природных соединений — **коферментов**, желчных кислот, антибиотиков.
- Участвуют в образовании гормонов, медиаторов и нейротрансмиттеров.
- Являются источниками метаболитов, принимающих участие в обмене веществ.

К числу медиаторов относятся некоторые аминокислоты (**глутаминовая** и **аспарагиновая** кислоты, **глицин** и **дофа**), а также **биогенные амины**.

Биогенные амины образуются при отщеплении от аминокислот карбоксильной группы (реакция декарбоксилирования). К их числу относятся: **γ-аминомасляная кислота, дофамин, норадреналин, адреналин, серотонин, гистамин**. Из триптофана через промежуточный продукт **5-гидрокситриптофан** образуется нейромедиатор **серотонин**. Из **глутаминовой кислоты** образуется **γ-аминомасляная кислота**.

Гистамин — важнейший медиатор и нейромедиатор, образуется в основном в тучных клетках и нейтрофильных лейкоцитах и участвует в развитии аллергических и воспалительных реакций. При аллергических реакциях высвобождение гистамина происходит под действием аллергенов, лекарств, некоторых тканевых гормонов. В ЦНС гистамин действует как нейромедиатор. Важным системным эффектом гистамина является расширение кровеносных сосудов, снижение артериального давления и частоты сердечных сокращений. Гистамин также стимулирует секрецию соляной кислоты.

Адреналин — гормон коры надпочечников, где он образуется из аминокислоты **тирозина**. Адреналин является ключевым гормоном стресса — «аварийным гормоном» и действует на обмен веществ и сердечно-сосудистую систему: повышает сердечную функцию; сужает сосуды, повышая артериальное давление; расширяет бронхи, увеличивая снабжение кислородом; ускоряет расщепление гликогена до глюкозы, обеспечивая энергией мышечную ткань.

Катехоламины — группа биогенных аминов, которые содержат в качестве общего фрагмента производное **фенилаланина** — **катехол**. Все эти вещества берут свое начало от аминокислоты **тирозина**, из которой первоначально образуется аминокислота **дофа** (**3,4-дигидроксифенилаланин**). При ее декарбоксилировании образуется **дофамин**, который в дальнейшем может превращаться в **норадреналин** и далее в **адреналин**. Адреналин выполняет функции, как медиатора, так и гормона [2].

Таблица 6

ПРОДУКТЫ МЕТАБОЛИЗМА И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ФУНКЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ АМИНОКИСЛОТ [8]		
Аминокислота	Метаболиты аминокислот	Физиологическая функция
Аргинин	Образования NO Креатин Полиамины	Молекулярный биорегулятор Предшественник креатинфосфата Экспрессия генов
Аспарагиновая кислота	Основа нуклеотида пиримидина	Входит в состав нуклеотидов и нуклеиновых кислот
Гистидин	Гистамин	Нейромедиатор, медиатор воспаления, стимуляция секреции соляной кислоты
Глицин	Основа нуклеотида пурина Порфирин Креатин Гиппуровая кислота Гликохолевая желчная кислота	Входит в состав нуклеотидов и нуклеиновых кислот Входит в состав гемоглобина и цитохрома Предшественник креатинфосфата Связывание токсических соединений — детоксикация Эмульгирование липидов
Глутаминовая кислота	Глутамин γ-аминомасляная кислота	Транспорт азота в организме, важный источник энергии, предшественник глутатиона Нейромедиатор
Лизин	Гидроксизин Карнитин	Составная часть коллагена Транспорт жирных кислот в клетке
Метионин	Холин	Составная часть фосфолипидов
Серин	Этаноламин Холин-ацетилхолин	Составная часть фосфолипидов Нейромедиатор
Тирозин	Норадреналин-адреналин Тироксин Меланин	Нейромедиатор, гормон Гормон щитовидной железы Пигмент кожи и волос
Триптофан	Серотонин Никотиновая кислота	Нейромедиатор Витамин, составная часть пуриновых нуклеотидов, NAD и NADH
Цистеин	Таурин	Таурохолевая желчная кислота Антиокислительная активность Предшественник глутатиона

В процессе обмена веществ отдельные аминокислоты превращаются в метаболиты, которые выполняют важные функции в организме человека. Специфические функции аминокислот представлены в *табл. 6*.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ РОЛЬ НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ

Валин (α -аминоизовалериановая кислота) был открыт в 1879 году. Физиологическая роль малоизучена. Известно, что недостаток валина у крыс сопровождается снижением потребления корма, расстройством координации движений, повышением кожной чувствительности.

Гистидин (α -амино- β -имидазолилпропионовая кислота) выделен в 1896 году. В значительном количестве содержится в гемоглобине, а также входит в состав **карнозина** и **ансерина**. По этой причине недостаток гистидина приводит к снижению уровня гемоглобина. Гемоглобин является одним из резервов гистидина в организме и при недостатке гистидина происходит повышенное разрушение гемоглобина, в результате которого высвобождается гистидин. При декарбоксилировании гистидина образуется **гистамин**. В ряде продуктов при их хранении, например в рыбе и сыре, происходит микробиологическое декарбоксилирование гистидина с образованием и накоплением больших количеств гистамина, что может иметь клинические последствия.

Лейцин (α -аминоизокапроновая кислота) впервые получен из сыра в 1819 году. Его много в составе белка (в среднем 10%). При недостатке лейцина в

питании у детей происходит задержка роста и снижение массы тела, отмечают изменения в почках и щитовидной железе.

Лизин (α , ϵ -диаминокапроновая кислота) выделен в 1889 году из казеина. Недостаточное содержание лизина в широко распространенных зерновых продуктах и сравнительно высокая потребность в нем организма (3–5 г в сутки) делают его одной из наиболее важных незаменимых аминокислот. Его недостаток в питании приводит к уменьшению числа эритроцитов и снижению гемоглобина, возникают дистрофические изменения в мышцах, в печени и в легких, нарушается кальцификация костей. Наиболее богат лизином мышечный белок — миозин, а также гемоглобин.

Метионин (α -амино- γ -метилтиомаляновая кислота) впервые был выделен в 1922 году из казеина. Метионин относится к серосодержащим аминокислотам и играет исключительно важную роль в обмене веществ и в процессах **метилирования** и **трансметилирования**. Метионин является основным донатором **метильных** групп. В процессе деметилирования метионина образуется **гомоцистеин**. Метильные группы метионина используются для синтеза **холлина**, который участвует в обмене липидов. Метионин, также как и холин, относится к липотропным веществам, оказывая влияние на обмен липидов и фосфолипидов, он важен в профилактике атеросклероза. При высоком уровне метионина наиболее полно проявляется

Таблица 7

ФУНКЦИИ И ПРИЗНАКИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ [6]		
Аминокислота	Функция	Признаки недостаточности
Валин	Легко переаминируется и теряется, восстанавливает мышцы после физической нагрузки	Гипертензия, атаксия
Гистидин	Синтез фолиевой кислоты, нуклеиновых кислот, гемоглобина и карнозина, важна при уремии, усиливает секрецию соляной кислоты и пепсина	Анемия, нехватка карнозина, нарушение умственного развития у детей
Изолейцин	Много в составе иммуноглобулинов, ключевая роль в утилизации пищи	Потеря массы тела, высокий диурез
Лейцин	Активирует эндокринную систему, важная роль для иммунной системы	Задержка роста и физического развития
Лизин	Содержится во всех белках, обеспечивает рост костной ткани, стимулирует митозы, поддерживает половую функцию у женщин, снижает уровень триглицеридов, противовирусное действие	Головная боль, тошнота, снижение слуха, медленный рост костной ткани
Метионин	Защита печени, детоксикация организма, защита от токсикоза беременных, антиоксидантное действие, синтез гемоглобина, функция щитовидной железы, рост	Ожирение, цирроз печени, анемия, кровотечения, атрофия мышц
Треонин	Усвоение пищевого белка, липотропное действие, обмен коллагена и эластина, повышает иммунитет	Потеря веса, высокий диурез
Фенилаланин	50% идет на синтез белка, синтез адреналина и тирозина, умственная активность, память, улучшает работу печени и поджелудочной железы	Нарушение функции щитовидной железы и надпочечников, гипотония

биологическое действие витамина В₁₂ и фолиевой кислоты. В свою очередь эти витамины стимулируют деметилирование метионина и образование холина. Метионин играет важную роль в функции надпочечников, он необходим для синтеза адреналина. Имеются данные о профилактическом действии метионина при лучевых поражениях и бактериальной интоксикации.

Треонин (α -амино- β -оксимасляная кислота) получен в 1935 году из фибрина. Дефицит треонина вызывает задержку роста и снижение массы тела.

Триптофан (α -амино- β -индолилпропионовая кислота) выделен в 1901 году. Важнейшая из незаменимых аминокислот необходим для роста и поддержания азотистого равновесия, участвует в биосинтезе белков сыворотки крови и гемоглобина. Триптофан играет важную роль в образовании никотиновой кислоты (витамина РР).

Фенилаланин (α -амино- β -фенилпропионовая кислота) выделен в 1879 году. Фенилаланин регулирует функцию щитовидной железы и надпочечников. Из него образуется гормон тироксин, а также аминокислота тирозин, из которого, в свою очередь, образуется адреналин. Тирозин может образовываться из фенилаланина, однако обратного образования фенилаланина из тирозина не происходит.

ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ ЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ

Аргинин (амино-*s*-гуанидин валериановая кислота) открыт в 1886 году. Играет очень важную роль в обмене веществ. Белки ядер сперматозоидов содержат до 80% аргинина. Аргинин является предшественником оксида азота (NO), который является важным молекулярным биорегулятором. Введение аргинина приводит к расширению сосудов и существенному снижению артериального давления при гипертонической болезни. Регулярное назначение аргинина способствует улучшению клинического состояния больных ишемической болезнью сердца. Помимо этого он снижает вязкость крови и уменьшает риск тромбоза сосудов. При физической нагрузке аргинин способствует улучшению кровотока в коронарных артериях. Аргинин ускоряет регенерацию печени при ее токсическом поражении и может применяться при лечении цирроза печени и жирового гепатоза. Ингаляционное назначение аргинина при муковисцидозе приводит к быстрому улучшению функции легких, он помогает при астматическом бронхите.

Известно, что аргинин стимулирует активность Т-лимфоцитов, предотвращает возрастное угнетение фагоцитоза макрофагами. Неспецифическая стимуляция иммунной функции аргинином сопровождается снижением частоты рака толстой кишки и молочной железы у экспериментальных животных. Назначение аргинина больным сахарным диабетом 2-го типа существенно повышает чувствительность к инсулину рецепторов клеток организма. У пациентов

с сахарным диабетом он ингибирует гликозилирование гемоглобина, снижая развитие осложнений. У лиц с повышенной физической нагрузкой аргинин усиливает действие инсулина и увеличивает рост кровеносных капилляров в скелетных мышцах. Аргинин стимулирует выработку соматотропного гормона (гормона роста), способствует уменьшению жировых отложений, росту мышечной массы, увеличивает активность и физическую выносливость, улучшает настроение. Он повышает половую функцию, увеличивают выработку сперматозоидов.

Аргинин не рекомендуют беременным и кормящим женщинам, больным шизофренией. Он может стимулировать свободнорадикальные процессы, поэтому его следует принимать в сопровождении антиоксидантов.

Глицин (аминоуксусная кислота) — наиболее простая из аминокислот, в большом количестве содержится в клетках головного и спинного мозга. Он является метаболитом широкого спектра действия, специфическим регулятором активности нервных клеток, тормозным медиатором. Глицин способен связывать различные эндогенные и экзогенные (лекарства) соединения. В настоящее время его применяют как успокаивающее (седативное) средство, он улучшает мозговую функцию. Менее известна его способность нормализовать синтез коллагена и соединительной ткани.

Глютамин (δ -амид- α -аминоглутаровая кислота) — самая распространенная свободная аминокислота в организме человека (в мышечной ткани содержание свободного глютамина составляет 67%). Очень активно обменивается в организме и является наиболее важной для переноса азота в печень и другие органы. Однако содержание глютамина в составе белка сравнительно небольшое — 5–7% (на лейцин приходится 10%). Глютамин является важным энергетическим субстратом для клеток печени, эпителиальных клеток тонкой кишки и иммунных клеток. Введение глютамина тяжелым больным ослабляет потерю мышечной массы улучшает функцию всасывания. Наличие глютамина является необходимым условием синтеза нуклеотидов — **пиримидинов** и **пиримидинов**.

Глютамин играет ключевую роль в регуляции синтеза **глутатиона** — трипептида, состоящего из глютаминовой кислоты, цистеина и глицина. Глутатион является важнейшим эндогенным антиоксидантом и защищает клетки от окислительного повреждения. Потребность в глютаmine возрастает при окислительном стрессе.

Глютаминовая кислота (аминоглутаровая кислота) выделена в 1866 году из эндосперма пшеницы. Глютаминовая кислота играет активную роль в обмене белка и в удалении из организма продуктов распада. Глютаминовая кислота является единственной аминокислотой, поддерживающей дыхание клеток головного мозга. Аминокислоту применяют при лечении некоторых нервных и психических заболеваний. Глютаминовая кислота

участвует в поддержании кислотно-щелочного гомеостаза в крови и тканях.

Пролин (пирролидин- α -карбоновая кислота) — способствует заживлению ран, укрепляет сухожилия, связки и суставы, увеличивает физическую работоспособность, укрепляет сердечную мышцу.

Тирозин (α -амино- β -параоксифенилпропионовая кислота) — способствует функционированию щитовидной железы (синтез тироксина), гипопфиза, надпочечников, снижает раздражительность, усталость, стресс, укрепляет сон.

Цистеин (ди- α -амино- β -тиопропионовая кислота) — способствует заживлению ожогов и ран, регенерации кожи, активирует иммунную систему, обладает антиоксидантной активностью.

ПОТРЕБНОСТЬ В АМИНОКИСЛОТАХ

Физиологическая потребность в аминокислотах окончательно не установлена. Проведенные исследования позволили выявить **ориентиры** потребности в незаменимых аминокислотах, отражающие минимальную потребность, «безусловно достаточное количество» и **минимальные** показатели суточной потребности [6]. Считают, что может быть «только один уровень физиологической потребности в незаменимых аминокислотах для здорового человека, хотя этот уровень для разных людей и в разное время может быть различным». FAO/ВОЗ предложил в качестве идеального белка аминокислотную шкалу, в которой представлены незаменимые аминокислоты в расчете на 100 г стандартного белка. Однако данная шкала далека от идеального белка, о чем мы будем говорить ниже.

Поскольку заменимые аминокислоты могут образовываться в организме, определение их физиологической потребности также не просто. В 2004 году в РФ предложены (на основе расчета) значения адекватного и верхнего уровня потребности для заменимых и незаменимых аминокислот, табл. 9.

Как видно из таблицы, в 2004 году по сравнению с 1971-м суточная потребность примерно для половины аминокислот была пересмотрена как в сторону повышения (аспарагиновая кислота, серин и аланин), так и в сторону снижения (фенилаланин, валин, метионин, триптофан и глутаминовая кислота). При этом суточная потребность в заменимых аминокислотах выше (в 2,5 раза), чем в незаменимых, и в настоящее время составляет **56,9 г/сутки (72%)**, против **22,6 г/сутки (28%)** для незаменимых аминокислот. В соответствии с современными нормами потребности среди незаменимых аминокислот доминируют: **лейцин, фенилаланин и лизин**, тогда как среди заменимых: **глутамин** (включая глутамат), **аспарагин** (включая аспаргат) и **серин**. Следует подчеркнуть, что в соответствии с нормами потребности заменимых аминокислот должно быть в 2–2,5 раза больше, чем незаменимых.

Аминокислотный скор. Качество белка можно оценивать, сравнивая его аминокислотный состав с составом стандартного (идеального) белка. Такой расчет называют **аминокислотным скором** (оценкой). Аминокислотный скор определяют по формуле:

Таблица 8

ФУНКЦИИ И ПРИЗНАКИ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ [6]		
Аминокислота	Функция	Признаки недостаточности
Аргинин	Образование мочевины, регулирует рост, тормозит рост опухолей за счет стимуляции иммунитета, детоксикация печени	Нарушение роста, риск развития сахарного диабета, эректильная дисфункция
Глицин	Синтез коллагена и соединительной ткани, седативное действие, нормализует мозговую функцию и сон, связывание аммиака. Увеличивает синтез лецитина	Артрозы и артриты Повышенная возбудимость
Глутамин	Переносчик аминных групп, важный энергетический субстрат для печени, тонкой кишки и иммунной системы, играет ключевую роль в регуляции синтеза глутатиона	Быстрая потеря мышечной массы у больных, окислительный стресс
Пролин	Синтез коллагена и соединительной ткани	
Таурин	Незаменим у детей, необходим в критических состояниях	Нарушение развития мозга, миокарда, ЖКТ
Тирозин	Синтез тироксина, пигмента кожи меланина, норадреналина и адреналина	Нарушение пигментации кожи
Триптофан	Образование альбумина, выработка серотонина, снижает содержание жира, гипотензивное действие, синтез альбумина и глобулинов, гормона роста, антидепрессант, улучшает сон, снижает аппетит	Анемия, стерильность, выпадение волос, депрессия, тревожность
Цистеин	Процессы регенерации и заживления ожогов и ран	Длительное заживление ран

(содержание аминокислоты данного белка (г/100 г) / содержание аминокислоты стандартного белка (г/100 г)) × 100.

Если в исследуемом белке содержание какой-либо аминокислоты будет менее 100%, то эта аминокислота окажется **лимитирующей**. Для взрослого человека в качестве **идеального** белка применяют шкалу ФАО/ВОЗ, в которой указано содержание каждой из незаменимых аминокислот в расчете на 100 г белка. Однако для человека и животных существует другие белки, которые в определенные периоды жизни являются единственным источником аминокислот для растущего организма. Среди белков животного происхождения к ним относятся белки молока и яйца. Среди растительных белков

такими белками являются, например, белки сои, орехов, зародыша пшеницы и др. Сравним состав незаменимых аминокислот женского молока, который можно считать эталонным, с составом аминокислот известных животных (табл. 10) и растительных (табл. 11) белков [9].

Как видно из таблицы, состав незаменимых аминокислот женского молока является достаточно уникальным и не похожим как по составу, так и по соотношению аминокислот среди аналогичных по значимости белков коровьего молока и куриного яйца. В составе коровьего молока незаменимых аминокислот на 11% меньше, чем в женском молоке, в белке коровьего молока на 30% меньше **валина**, хотя **метионина** на 61% больше. Куриное яйцо по

Таблица 9

РЕЙТИНГ ПОТРЕБНОСТИ ВЗРОСЛОГО ЧЕЛОВЕКА В АМИНОКИСЛОТАХ (г/сутки)						
Аминокислоты	А.Э. Шарпенак [6]	Rous, Mesy, Block [6]	ФАО/ВОЗ г/100 г белка [4]	О.П. Молчанова, 1971 [6]	Адекватный уровень (РФ, 2004)	Верхний уровень (РФ, 2004)
Незаменимые						
Лейцин	10,0***	9,1	6,6	4–6	4,6	7,3
Фенилаланин	4,5	4,4	6,3*	2–4	4,4*	6,9*
Лизин	8,0	5,2	5,8	3–5	4,1	6,4
Валин	6,0	3,8	3,5	4,0	2,5	3,9
Треонин	—	3,5	3,4	2–3	2,4	3,7
Изолейцин	—	3,3	2,8	3–4	2,0	3,1
Метионин	2,5	3,8**	2,5**	2–4	1,8**	2,8**
Триптофан	1,6	1,1	1,1	1,0	0,8	1,2
Суммарно, г/сутки	32,6	34,2	32,0	26	22,6	35,3
% аминокислот			32%	34%	28%	28%
Заменимые						
Глютамин + глютаминовая кислота				16,0	13,6	21,8
Аспарагин + аспарагиновая кислота				6,0	12,2	19,9
Серин				3,0	8,3	13,3
Аланин				3,0	6,6	10,6
Аргинин				6,0	6,1	9,8
Пролин				5,0	4,5	7,2
Глицин				3,0	3,5	5,6
Гистидин				2,0	2,1	3,4
Тирозин				3–4		
Цистеин				2–3		
Суммарно, г/сутки			68	50	56,9	91,6
% аминокислот			68%	66%	72%	72%
Сумма всех аминокислот			100	76	79,5	126,9
заменимые : незаменимые			2,12	1,92	2,5	2,6

Примечание: * — фенилаланин + тирозин; ** — метионин + цистеин; *** — лейцин + изолейцин.

Таблица 10

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СОСТАВ НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ ЖЕНСКОГО МОЛОКА И ЖИВОТНЫХ БЕЛКОВ											
Аминокислоты	Женское молоко	Коровье молоко		Куриное яйцо		Рыба		Мясо		ФАО/ВОЗ	
		г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%
Незаменимые	г/100 г	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%
Лейцин	10,2	9,7	95	9,2	90	9,1	89	8,7	85	6,6	65
Валин	9,9	6,9	70	7,3	74	6,1	62	5,9	60	3,5	35
Лизин	8,5	7,5	88	7,9	93	9,5	112	8,6	101	5,8	68
Изолейцин	7,6	6,2	82	8,0	105	6,0	79	4,5	59	2,8	37
Фенилаланин	5,9	5,7	97	7,3	124	4,8	81	4,5	76	6,3*	—
Треонин	5,0	4,6	92	5,9	118	5,1	102	5,3	106	3,4	68
Метионин	2,3	3,7	161	4,1	178	2,6	113	3,2	139	2,5**	—
Триптофан	1,9	1,6	84	1,5	79	0,8	42	1,2	63	1,1	58
Аргинин***	5,0	4,3	86	6,5	130	8,1	162	6,5	130	—	—
Гистидин***	2,7	2,5	93	2,1	78	2,6	96	3,0	111	—	—
Суммарно	51,3	45,9	89	51,2	100	44,0	86	41,9	82	32,0	62
Заменимые	48,7	54,1		48,8		56,0		58,1		68,0	
Заменимые : незаменимые	0,94	1,18		0,95		1,27		1,39		2,13	

Примечание: * — фенилаланин + тирозин; ** — метионин + цистеин; *** — заменимые аминокислоты.

Таблица 11

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ СОСТАВ НЕЗАМЕНИМЫХ АМИНОКИСЛОТ ЖЕНСКОГО МОЛОКА И РАСТИТЕЛЬНЫХ БЕЛКОВ									
Аминокислоты	Женское молоко	Соевые бобы		Овсяные хлопья		Пшеничная мука		Картофель	
		г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%
Незаменимые	г/100 г	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%	г/100 г	%
Лейцин	10,2	7,7	75	7,7	75	6,2	61	10*	56
Валин	9,9	5,3	54	5,3	54	4,3	43	4,0	40
Лизин	8,5	6,9	81	3,0	35	2,5	29	2,6	31
Изолейцин	7,6	5,8	76	5,3	70	3,1	41		
Фенилаланин	5,9	5,0	85	4,6	78	4,8	81	6,4	108
Треонин	5,0	4,4	88	3,5	70	2,8	56	3,1	62
Метионин	2,3	1,3	57	1,2	52	1,2	52	1,5	65
Триптофан	1,9	1,3	68	1,3	68	1,3	68	0,6	32
Аргинин**	5,0	7,3	146	7,4	148	4,5	90	1,4	28
Гистидин**	2,7	2,5	93	2,0	74	2,0	74	0,6	22
Суммарно	51,3	37,7	73	31,9	62	26,2	51	28,2	55
Заменимые	48,7	62,3		68,1		73,8		71,8	
Заменимые : незаменимые	0,94	1,65		2,13		2,82		2,55	

Примечание: * — лейцин + изолейцин; ** — заменимые аминокислоты.

количеству незаменимых аминокислот и биологической ценности более всего приближено к женскому молоку, но соотношение незаменимых аминокислот в белке куриного яйца совершенно иное. Белок куриного яйца, по сравнению с белком женского молока, содержит больше **метионина, треонина и фенилаланина**, в то же время этот белок дефицитен по **валину (70%)** и **триптофану (79%)**. Белки рыбы и мяса по составу и соотношению незаменимых аминокислот еще сильнее отличаются от эталонного белка женского молока, что связано с особенностью аминокислотного состава белков мышечной ткани. Эти белки дефицитны по **валину (60–62%), изолейцину (59–79%), триптофану (42–63%)** и **фенилаланину (76–81%)**, хотя содержат больше **лизина и метионина**. Состав незаменимых аминокислот растительных белков еще сильнее проигрывает белку женского молока, и кроме **фенилаланина**, являются дефицитными практически по всем незаменимым аминокислотам, особенно по **лизину (29–35%), валину (40–54%)** и **метионину (52–65%)**. Среди наиболее распространенных растительных белков, безусловно, лучшим является белок сои, который содержит существенно больше незаменимых аминокислот, чем другие растительные белки. Однако белок сои дефицитен по **валину (54%), метионину (57%)** и **изолейцину (76%)**. Обращает на себя внимание доминирование в растительном белке **заменимых** аминокислот, которых больше чем незаменимых в 1,6–2,5 раза.

Сравнивая состав незаменимых аминокислот «идеального» белка ФАО/ВОЗ с белками женского или коровьего молока, а также яйца, можно увидеть, что последние отличаются принципиально иным составом и соотношением заменимых и незаменимых аминокислот близким к 1,0. Тогда как в «идеальном» белке ФАО/ВОЗ, а также в современных отечественных нормах это соотношение больше 2,0 (2,12–2,5), что характерно для белков растительного происхождения. Таким образом, по составу незаменимых аминокислот к идеальному белку наиболее близки белки яиц и молока. Белки рыбы

и мяса по содержанию аминокислот существенно отличаются от идеала, а растительные белки имеют еще более низкую биологическую ценность.

Биологическая ценность белка — доля задержки азота в организме от всего белка, попавшего в кровь. Мерой биологической ценности является такое количество белка, которое необходимо для поддержания азотистого **равновесия** в организме человека или животных. Если в белке есть все необходимые организму незаменимые и заменимые аминокислоты в нужном количестве и в необходимых пропорциях, и они полностью всасываются в желудочно-кишечном тракте, то его биологическая ценность будет равна 100. Когда в составе белка соотношение аминокислот неоптимальное, имеется дефицит отдельных незаменимых аминокислот или если белок плохо усваивается, то его биологическая ценность будет заведомо ниже (*табл. 12*).

Кругооборот белка в организме человека — явление физиологическое и связано с необходимостью обновления белка. Дело в том, что большинство белков и, прежде всего ферменты, живут недолго и могут разрушаться через несколько часов после биосинтеза. Значительно более долговечны структурные белки, гистоны, гемоглобин или компоненты цитоскелета клетки. Полупериод жизни белков в организме человека в среднем составляет 2–8 дней. Постоянное обновление белка играет важную роль в обмене веществ и является весьма эффективным механизмом регуляции активности ферментов, обновления пула иммуноглобулинов, удаления дефектных и ненужных в данное время белков. Быстрое разрушение требуется для удаления из организма биологически активных пептидов и пептидных гормонов. Постоянное разрушение и ресинтез новых белков позволяет клеткам *«быстро приводить в соответствие с метаболическими потребностями уровень и активность наиболее важных ферментов»* [2]. Ориентировочно в организме взрослого человека ежедневно в результате протеолиза деградирует до аминокислот **300–400 г белка**. В то же время примерно столько же аминокислот включается во вновь

Таблица 12

КАЧЕСТВО НЕКОТОРЫХ ПИЩЕВЫХ БЕЛКОВ ОТНОСИТЕЛЬНО БЕЛКОВ ЖЕНСКОГО МОЛОКА			
Пищевой белок	Химическая ценность, %	Биологическая ценность, %	Дефицитные аминокислоты
Женское молоко	100	95	Нет
Яйцо куриное	100	87	Валин (74%), триптофан (79%)
Говядина	98	93	Изолейцин (59%), валин (60%), триптофан (63%), фенилаланин (76%)
Коровье молоко	95	80–82	Валин (70%)
Рыба		61–86	Триптофан (42%), валин (62%), изолейцин (79%)
Соя		61–73	Валин (64%), метионин (57%), лейцин (75%), изолейцин (76%)
Белый хлеб	47	30	Лизин (29%), изолейцин (41%), валин (43%), метионин (52%), треонин (56%), лейцин (61%), триптофан (68%)

образованные белки. Оба эти процесса формируют кругооборот белка в организме. Учитывая, что в организме содержится около 10 кг различных белков, текущий протеолиз затрагивает всего 3% белка [2].

В результате протеолиза образуются аминокислоты, которые могут быть использованы клеткой для биосинтеза новых белков или поступают в кровь, формируя пул свободных аминокислот, объем которого составляет около 100 г. Деградация белка в клетках осуществляется с помощью двух специализированных систем: *лизосом* и *протеосом*. Важную роль в осуществлении деградации белков организма играет **система пищеварения**, в которой переваривается, а затем реутилизируется значительная часть плазматических и других эндогенных белков, а также белки, которые попадают в просвет кишки при слущивании завершивших свою работу эпителиальных клеток. В ходе деградации белка может накапливаться аминный азот, который, в отличие от углеводородной части аминокислот, непригоден для получения энергии. Поэтому аминокислоты, которые не могут быть использованы повторно, например, в реакциях *трансаминирования*, превращаются в аммиак, а затем — в мочевину.

В организме человека существует весьма эффективный **механизм регуляции** уровня белка. Чем выше дефицит белка в организме, тем лучше

усваивается пищевой белок, и тем меньше будут потери аминокислот с калом и мочой. С другой стороны, чем больше белка содержится в пище, тем хуже он будет усваиваться. При отсутствии дефицита белка в организме его усвоение в желудочно-кишечном тракте также снижается. Механизм регуляции уровня белка в организме человека также связан с увеличением кругооборота белка и аминокислот при его дефиците и снижением кругооборота и усилением катаболизма белка при его избыточном поступлении с пищей. Таким образом, организм способен в определенной степени сглаживать дефицит белка, в то же время препятствуя перегрузке организма пищевым белком. Например, после приема пищи с высоким содержанием белка более половины аминокислот (57%), поступающих в печень, превращается в мочевину, 14% аминокислот остаются в печени и 23% — выходят в кровь и поступают в пул свободных аминокислот. Только 6% аминокислот используется печенью для синтеза белков [2].

Свободные аминокислоты, находящиеся в крови, захватываются печенью, почками, поджелудочной железой, тонкой кишкой,

Таблица 13

РЕЙТИНГ СОДЕРЖАНИЯ АМИНОКИСЛОТ В КРОВИ И В МОЧЕ ЧЕЛОВЕКА [10]			
Аминокислота	Содержание в крови, мг/100 мл	Экскреция с мочой в сутки, мг	
		диапазон	в среднем
Незаменимые			
Валин	2,88	4–6	5,0
Лизин	2,72	7–48	27,5
Лейцин	1,86	9–26	17,5
Треонин	1,67	15–53	34,0
Изолейцин	1,34	14–28	21
Триптофан	1,27		
Метионин	0,52	5–10	7,5
Заменимые			
Аланин	3,40	21–71	46
Пролин	2,36	Менее 10	10
Аргинин	1,62		
Глицин	1,50	21–71	46
Цистеин	1,47	10–21	15,5
Гистидин	1,38	113–320	217
Серин	1,12	27–73	50
Тирозин	1,04	15–49	32
Глутамат	0,70	8–40	24
Аспаргат	0,03	Менее 10	10

более 85% свободных аминокислот покидает систему кровообращения в течение 5–15 минут, поэтому концентрация аминокислот в крови достаточно низкая — 35–70 мг/100 мл [2] (табл. 13).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, потребность человека в белке во многом зависит от качественного состава аминокислот, и прежде всего незаменимых. Поэтому белков животного происхождения, которые наиболее близки по составу аминокислот к белкам организма человека, требуется меньше, чем белков растительных, аминокислотный состав которых существенно отличается от оптимального для человека. Например, при употреблении белков с высокой биологической ценностью (мяса, молока, яиц) для удовлетворения потребности взрослого человека достаточно 0,75 г/кг массы тела (52,5 г белка/сутки). При употреблении смешанного рациона (белки животного и растительного происхождения) потребность в белке будет составлять 0,85–1,0 г кг массы тела (59,5–70,0 г белка/сутки). Более того, при потреблении животных белков с калом теряется 2,5–3,0% азота, тогда как употреблении в пищу растительных продуктов, богатых клетчаткой (овощи, зерновые) — до 40% пищевого азота [6].

Низкие нормы потребности в белке, которые в свое время предлагали Ро и Читтенден, а затем и Вильямс, были основаны на классических представлениях об азотистом балансе (равновесии). Согласно этим представлениям для поддержания азотистого (белкового) равновесия в организме большинства взрослых людей, которые здоровы и находятся в покое, может быть достаточно **30 г** белка/сутки. Читтенден, который изучал белковый обмен у молодых людей (студентов, солдат, спортсменов), показал, что азотистое равновесие вполне может обеспечить **55–60 г** белка/сутки [7].

В принципе для поддержания азотистого равновесия у взрослого и здорового человека на минимальном уровне достаточно **36,9 г** молочного белка/сутки. С учетом высокого качества белка куриного яйца **минимальная** потребность в белке для поддержания азотистого равновесия может составлять **0,34–0,43 г** белка/кг массы тела в сутки, или **28 г** яичного белка в сутки [11]. Однако для обеспечения *«надежного уровня потребления»*, белка требуется больше — **56,25–57,5 г** белка казеина в сутки при калорийности пищевого рациона около 3000 ккал/сутки. Для нормального физического развития, повышения работоспособности и устойчивости к неблагоприятным внешним воздействиям, а также сопротивляемости организма к инфекции белка нужно еще больше, чем то количество, которое всего лишь *«обеспечивает поддержание азотистого равновесия»*. В этой связи выделяют *«оптимальную потребность человека в белке»*, которая должна превышать надежный уровень **на 50%** и будет составлять **84,4–87,5 г** белка/сутки [7].

Таким образом, потребность в белке должна складываться из некоего **минимального** количества — *«безопасного уровня белка»*, который обеспечивает *«надежный уровень потребления»*, и *«дополнительного количества белка»*, который учитывает особенности обмена веществ, состояние здоровья и качественный состав пищевого рациона. Безопасный уровень белка обеспечивает надежное поддержание азотистого равновесия в организме определенного числа людей, а введение дополнительного количества белка необходимо для заполнения так называемых *«лабильных резервов белка»*.

В 1973 году ФАО/ВОЗ путем расчета определило, что величина средней потребности в белке населения развитых стран должно составлять **48,5–56,6 г/сутки** (при относительной биологической ценности **70–80%**). Для развивающихся стран, в питании которых присутствует большая доля низкокачественного растительного белка (относительная биологическая ценность — **60–70%**), средняя потребность в белке была определена равной **56,6–65,5 г** в сутки [11].

Чем ниже биологическая ценность белка, тем больше его требуется. Однако в этом случае некоторые аминокислоты будут поступать в организм человека в **избыточном** количестве, превышающем текущие потребности, связанные с **биосинтезом** белка и **специфическим метаболизмом** отдельных аминокислот. Белки и аминокислоты не способны запасаться в организме, поэтому лишние аминокислоты будут либо выводиться из организма, либо подвергаться метаболической деградации. Содержащийся в аминокислотах азот будет превращаться в мочевины и креатинин и выделяться с почками, углеродный скелет — использоваться для биосинтеза глюкозы или жирных кислот, а другая его часть — окисляться до углекислого газа и воды с образованием АТФ.

Потребность в белке во многом зависит от **калорийности** и состава других компонентов пищевого рациона — углеводов и липидов (табл. 14). Низкокалорийные диеты или диеты с недостаточным количеством углеводов увеличивают потребность в белке, поскольку часть белка начинает расходоваться для образования глюкозы и кетонных тел. При отсутствии в пищевом рационе углеводов и жиров для достижения азотистого равновесия пищевого белка требуется **в 5 раз** больше [6]. С увеличением калорийности пищевого рациона потребность в белке снижается.

Таким образом, рассматривая потребность организма в белке и аминокислотах, можно сделать следующие выводы:

- Белок пищи необходим не только для биосинтеза белков организма, но и для решения энергетических проблем, особенно в критических ситуациях.
- Отдельные аминокислоты пищевого белка выполняют в организме самостоятельную функцию, что необходимо учитывать при назначении

Таблица 14

ВЛИЯНИЕ КАЛОРИЙНОСТИ РАЦИОНА НА ПОТРЕБНОСТЬ В БЕЛКЕ ДЛЯ ПОДДЕРЖАНИЯ АЗОТИСТОГО РАВНОВЕСИЯ [12]					
Калорийность рациона		Потребность в белке для нулевого баланса		Безопасный уровень потребления белка	
ккал/кг	ккал/70 кг	г/кг	г/70 кг	г/кг	г/70 кг
40	2800	0,78	54,6	1,02	71,4
45	3150	0,56	39,2	0,74	51,8
48	3360	0,51	35,7	0,62	43,4
57	4000	0,42	29,4	0,50	35
Рекомендуемая норма потребления				0,80	56

аминокислот, используя отдельные аминокислоты для коррекции питания.

- Идеальными белками по составу и пропорциям незаменимых аминокислот являются белки молока и куриного яйца и в меньшей степени — белки мяса. Растительные белки содержат аминокислоты в иных пропорциях и дефицитны по большинству незаменимых аминокислот.
- Избыточное потребление белковой пищи «не идет нам впрок», поскольку лишние аминокислоты пищи будут разрушаться, а белковый азот удаляться из организма. Потребление белка

должно быть равномерным на протяжении суток, что позволяет оптимизировать его всасывание и утилизацию, а также свести к минимуму потери аминокислот.

- Умеренное потребление белка не является столь катастрофичным для организма человека, поскольку при этом снижаются потери аминокислот.
- Для достижения разных целей необходимы белковые модули с разным количеством и соотношением как заменимых, так и незаменимых аминокислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ленинджер А.Л. Основы биохимии. — М.: Мир, 1985. — Т. 1. — 365 с.
2. Кольман Я., Рем К.-Г. Наглядная биохимия. — М.: Мир, 2000. — 469 с.
3. Попова Т.С., Шестопалов А.Е., Тамазашвили Т.Ш., Лейдерман И.Н. Нутритивная поддержка больных в критических состояниях. — М., 2002. — 320 с.
4. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Петухов А.Б. Питание человека (основы нутрициологии). — М.: ГОУ ВУНМЦ МЗ РФ, 2002. — 572 с.
5. Ньюсхолм Э., Старт К. Регуляция метаболизма. — М.: Мир, 1977. — 408 с.
6. Гигиена питания / Под ред. К.С. Петровского. — М.: Медицина, 1971. — Т. 1. — 511 с.
7. Высоцкий В.Г. К оценке потребности человека в белке // Вопросы питания. — 1978. — № 6. — С. 8–17.
8. Основы клинического питания. — Петрозаводск: ИнтелТек, 2003. — 412 с.
9. Химический состав пищевых продуктов. Книга 2. — М.: ВО Агропромиздат, 1987. — 360 с.
10. Большая медицинская энциклопедия. — М.: Медицина, 1974. — Т. 1. — С. 364–371.
11. Energy and Protein Requirements // WHO Tech. Rep. Ser. — 1973. — No 522. — P. 40–72.
12. Общая нутрициология. — М.: МЕДпресс-информ, 2005. — 392 с.