

Модуль 3: Оптимизация восстановления и синтез белка

3.1. Оптимизация восстановления и синтеза белка (12,508)

3.1.1 Быстрая регидратация

После тяжелой тренировки или матча игроки обычно теряют 1-2 кг массы тела (Broad, Burke, Cox, Heeley, & Riley, 1996). Это обезвоживание от слабого до умеренного. Потеря 2% массы тела не считается проблемой, но потеря более 2% (1,6 кг для 80-килограммового диска) может повлиять на производительность (Nuccio, Barnes, Carter, & Baker, 2017), особенно в жарких условиях (как мы увидим в разделе, посвященном экстремальным условиям). Как показали несколько исследований, обезвоживание может влиять на различные результаты бега футболистов, но также может влиять на когнитивные функции или технику (Nuccio et al., 2017). У игроков ФК «Барселона» мы измерили потерю массы тела на 0,5–1,3% во время тренировки в прохладных и теплых условиях во время тренировки. Во время тренировки у игроков был доступ к жидкости, поэтому при их неограниченном потреблении жидкости обезвоживание не было проблемой, поскольку оно оставалось в пределах 2% потери массы тела. Это обычная находка: потери жидкости во время футбола обычно составляют менее 2% веса тела (Broad et al., 1996) во время тренировки, даже летом. Исходя из этого, можно было бы сделать вывод, что обезвоживание не является серьезной проблемой в футболе в большинстве тренировочных ситуаций. Однако явно есть игроки, которые потеют постоянно больше, чем другие, и которые, скорее всего, обезвоживаются до более чем 2% веса тела в жарких условиях и во время матча, когда нет доступа к жидкости (неопубликованные данные).

В разделе, посвященном экстремальным условиям окружающей среды, более подробно обсуждается влияние тепла на терморегуляцию, потоотделение и работоспособность. Во время тренировок в жару потери потоотделения могут быть очень значительными, и важно определить тех игроков, у которых очень высокий уровень потоотделения. Это можно сделать с помощью простых измерений веса тела до и после тренировок и игр (точные процедуры обсуждаются в разделе, посвященном экстремальным условиям). Когда такие измерения проводятся регулярно, можно в конечном итоге с разумной точностью предсказать уровень потоотделения и определить игроков, которым требуется дополнительное внимание. Путем измерения потери потоотделения можно также дать более подробные рекомендации по употреблению алкоголя после упражнения. Часто этот совет выражается в процентах от потери массы тела, как мы увидим ниже.



После тренировки баланс жидкости может быть восстановлен относительно быстро. Независимо от того, важно это или нет, зависит в основном от степени обезвоживания, времени следующей тренировки или выступления (если осталось менее 8 часов, может потребоваться более агрессивная стратегия питья и можно ли переносить жидкость).

Более агрессивная питьевая стратегия для восстановления баланса жидкости важна при следующих условиях:

- В случае сильной гипогидратации (4-5% массы тела). В этой ситуации важно быстро восстановить водный баланс. Часто такое обезвоживание влияет на чувство голода, и если игрок не ест, это влияет на все другие аспекты восстановления. При сильном обезвоживании рекомендуется в первую очередь восстановить баланс жидкости.
- Когда спортсменам необходимо участвовать в последующих соревнованиях в относительно короткие сроки (<8 часов, т. Е. Две тренировки в день). Если до следующей тренировки или матча осталось больше 8 часов, нормальное питье и еда, скорее всего, восстановят водный баланс (Shirreffs & Sawka, 2011).
- Когда еда недопустима, недоступна или нежелательна. Жидкости также являются способом доставки других питательных веществ, таких как углеводы и белки, поэтому, когда игрок не может есть или не переносит пищу, часто более практично дать ему пить.

«В большинстве других ситуаций воду и натрий можно потреблять при обычном приеме пищи и питья без срочности (Shirreffs & Sawka, 2011)» (Laitano, Runco, Baker, 2014, <https://bit.ly/2BIJG6E>). Ниже мы обсудим рекомендации по быстрому восстановлению баланса жидкости. Какое количество жидкости нужно употреблять? А какие напитки лучше всего подходят для быстрого восстановления баланса жидкости?

Объем жидкости

Употребление точного количества жидкости, потерянной во время тренировки в течение 2-4 часов после тренировки, приведет только к 50-70% восстановлению баланса жидкости. Отчасти это связано с тем, что употребление алкоголя приведет к увеличению объема плазмы, и это вызовет серию реакций, которые приведут к увеличению выработки мочи. Следовательно, чтобы восстановить баланс жидкости в течение короткого периода времени, игроку нужно будет выпить больше, чем потеряно жидкости. Shirreffs et al. (Shirreffs, Taylor, Leiper, & Maughan, 1996) давали испытуемым электролитный напиток, эквивалентный 50%, 100%, 150% или 200% потери массы тела во время предыдущего упражнения. Чистый баланс жидкости был полностью восстановлен только через 6 часов, когда объем принятой жидкости был больше, чем потеря жидкости во время тренировки (150% и 200%). Не было явного преимущества питья 200% по сравнению со 150%. В одном и том же исследовании были протестированы 2 разные концентрации натрия. Когда был добавлен 61 ммоль / л натрия, это улучшенное жидкостное равновесие составляло более 23 ммоль / л при объемах приема 100% или более. На основании этих исследований было экстраполировано руководство, согласно которому для достижения быстрой и полной регидратации спортсмены должны выпивать 1,5 л натрийсодержащей жидкости на каждый килограмм потерянной массы тела (Shirreffs & Sawka, 2011). Дополнительный объем компенсирует диурез, вызванный быстрым потреблением большого количества жидкости.



Роль натрия

обавление натрия в напиток, заменяющий жидкость, поможет стимулировать более полную регидратацию после того, как игрок подвергнется гипогидратации, вызванной физическими упражнениями. Натрий помогает восстановить объем плазмы и водный баланс всего тела по сравнению с употреблением простой воды (Gonzalez-Alonso, Hears, & Coyle, 1992; Maughan & Leiper, 1995; Maughan, Owen, Shirreffs, & Leiper, 1994; Shirreffs, 1994; Shirreffs). , Арагон-Варгас, Кейл, Лав и Филлипс, 2007). Прием натрия увеличивает концентрацию натрия в крови и осмоляльность, что, в свою очередь, стимулирует реабсорбцию воды почками. Выделение мочи обратно пропорционально содержанию натрия в проглоченной жидкости (Maughan & Leiper, 1995), поэтому более высокие концентрации натрия означают меньшее выделение мочи. Важно отметить, что натрий - единственный электролит, который важен в этом отношении. Калий может играть определенную роль в распределении жидкости в организме, но натрий является основным двигателем общей гидратации.

Объем потребляемой жидкости необходим для регидратации после тренировки. Натрий еще больше способствует удержанию. Вероятно, это два наиболее важных фактора, которые будут определять регидратацию после тренировки. В следующем разделе мы рассмотрим ряд различных напитков и ингредиентов, которые потенциально могут улучшить гидратацию (углеводы, белки) или ухудшить гидратацию (алкоголь, кофеин).

3.1.2 Напитки с лучшими гидратационными свойствами

Напитки с углеводами

Есть некоторые свидетельства того, что включение углеводов в напиток, заменяющий жидкость, также может влиять на удержание жидкости после обезвоживания. В одном исследовании (Osterberg, Pallardy, Johnson, & Horswill, 2010) проверялось влияние пяти различных напитков на удержание жидкости после 90 минут упражнений в жарких условиях. Упражнение вызывало легкое обезвоживание (2-3%). Спортсмены употребляли воду, плацебо или раствор углеводов в разных концентрациях (3%, 6% или 12%). Они использовали объем, чтобы восполнить 100% потерь жидкости во время упражнений. В конце 4-часового периода регидратации задержка жидкости была значительно выше для всех напитков, содержащих углеводы, по сравнению с водой. Значимой разницы между водой и плацебо не было. Точно так же Evans, Shirreffs и Maughan (2009) сравнили влияние напитков с одинаковым содержанием электролитов, но с разными концентрациями углеводов (0%, 2% и 10%) на задержку жидкости у субъектов, которые были обезвожены (1,9% массы тела).). Значительно больше проглоченной жидкости было удержано с 10% раствором углеводов, чем с 0 раствором углеводов.

Влияние углеводов на задержку жидкости после тренировки может быть связано с рядом факторов:

- Один из механизмов, который следует учитывать, - это пассивная ассоциация воды с растворенными веществами, связанная с накоплением гликогена. Транспорт глюкозы в



печень и мышечные клетки увлекает воду вместе с субстратом, что может увеличить задержку внутриклеточной жидкости и общего количества воды в организме.

- Углеводы также могут влиять на задержку жидкости, задерживая опорожнение желудка или кишечное всасывание (из-за повышенной плотности энергии и / или осмоляльности напитков с более высоким содержанием углеводов), что эффективно задерживает появление жидкости в кровотоке. Отсроченное всасывание жидкости и / или более высокая осмоляльность плазмы, вызываемая углеводным напитком, ослабляет выведение воды почками.
- В-третьих, реакция инсулина на потребление углеводов может усиливать реабсорбцию натрия почками (DeFronzo, Goldberg, & Agus, 1976), что, в свою очередь, способствует задержке воды.

Кокосовая вода

Кокосовая вода рекламируется как новый напиток для увлажнения. Гуру маркетинга утверждают, что у него лучшие увлажняющие свойства, чем у воды или спортивных напитков. Это правда, что кокосовая вода содержит углеводы и электролиты. Однако кокосовая вода содержит очень мало натрия, и, как мы только что обсуждали, это электролит, который имеет значение. Следует также отметить, что кокосовая вода сильно различается по составу в зависимости от многих факторов, включая процесс созревания (Fagundes Neto, Franco, Tabacow, & Machado, 1993). Например, «концентрация глюкозы оставалась постоянной между 5-м и 8-м месяцами, но резко снизилась после 9-го месяца. Ни в одном случае кокосовая вода не содержала натрия и глюкозы в концентрациях, представляющих потенциальную ценность в качестве раствора для пероральной регидратации ». (Fagundes Neto et al., 1993, <https://bit.ly/2DOY5tV>).

«Поэтому утверждения о том, что кокосовая вода является превосходным источником гидратации, необоснованны. Однако это естественный способ пить жидкости, которые также содержат углеводы и электролиты ». (Jeukendrup, 2018, <https://bit.ly/2FrFGFA>).

Таблица 1: Состав кокосовой воды по сравнению с водой и средним спортивным напитком

Сочинение	вода	Спортивный напиток	Кокосовая вода
(за литр)	<100	280	420
Натрий (мг)	<10	2000	120
Калий (мг)	0	60-70	10-44
Углеводы (г)	0	240-280	40-176

Источник: Jeukendrup, 2018 г., <https://bit.ly/2FrFGFA>.

Исследования подтверждают это и обнаружили (что неудивительно), что увлажняющие свойства кокосовой воды не отличаются от свойств спортивных напитков (Kalman, Feldman, Krieger, & Bloomer, 2012). Когда в кокосовую воду добавляли натрий, гидратирующие свойства улучшались,



а кокосовая вода, обогащенная натрием, приводила к более полной гидратации, чем обычная вода (Ismail, Singh, & Sirisinghe, 2007). (Jeukendrup, 2018, <https://bit.ly/2FrFGFA>).

Молоко

В одном исследовании (Shirreffs, Watson, & Maughan, 2007) изучались увлажняющие свойства обезжиренного молока с добавлением 20 ммоль / л NaCl или без него (это 340 мг / л) и сравнивались его со спортивным напитком и водой. После потери 1,8% веса тела во время периодических упражнений в жаркой среде субъекты выпили объем напитка, эквивалентный 150% потери пота. «Совокупный диурез был меньше после употребления молочных напитков»; (Shirreffs, Watson, & Maughan, 2007, <https://bit.ly/2BkRq8O>) только половина мочи была произведена с молоком (в то время как натрий имел лишь небольшой дополнительный эффект). «Результаты настоящего исследования показывают, что молоко может быть эффективным напитком для регидратации после тренировки». (Shirreffs et al., 2007, <https://bit.ly/2BkRq8O>). Конечно, это также поможет удовлетворить потребности в белках и углеводах.

Watson, Love, Maughan, & Shirreffs (2008) сравнили регидратирующий эффект обезжиренного молока с имеющимся в продаже спортивным напитком. Спортсмены сначала обезвоживались до потери массы тела на 2,0%, а затем употребляли либо обезжиренное молоко, либо спортивный напиток с углеводами и электролитами, эквивалентный потере 150% массы тела. После 3-часового периода регидратации субъекты выделяли больше мочи в углеводно-электролитном исследовании, чем в исследовании с молоком. Разница была равна чистой разнице баланса жидкости в 326 мл или 0,4-0,5% массы тела.

Было высказано предположение, что повышенная энергетическая ценность, а также свертывание казеина в молочных продуктах задерживают опорожнение желудка (James, Clayton, & Evans, 2011) и замедляют абсорбцию кишечной жидкости по сравнению с напитками из сывороточного протеина или глюкозы. Задержка поступления жидкости в кровоток, следовательно, ослабит снижение осмоляльности сыворотки и, следовательно, продлит стимул для реабсорбции воды почками. (Baker & Jeukendrup, 2014 г., <https://bit.ly/2DzOqas>).

Спортивное пиво

Алкогольные напитки, как правило, не рекомендуется употреблять после тренировки из-за их обезвоживающих свойств и из-за негативного воздействия на синтез белка. Однако исследования, которые лежат в основе этих мыслей, проводились с большим количеством алкоголя, поэтому остается вопрос, влияет ли умеренное потребление алкоголя на регидратацию после упражнений. В исследовании, в котором сравнивались гидратирующие свойства различных напитков, пиво показало не намного худшие результаты, чем вода (Maughan et al., 2016). Доктор Бен Десброу и его коллеги провели ряд исследований (Desbrow et al., 2015; Desbrow, Murray, & Leveritt, 2013), изучающих влияние алкогольного пива на гидратацию после упражнений.



В их исследованиях пиво не смогло полностью восстановить водный баланс в течение 4 часов, независимо от крепости пива и содержания электролитов. Однако они заметили, что светлое пиво (с содержанием алкоголя 2,3%) в сочетании с 50 ммоль / л добавленного натрия было более эффективным раствором для регидратации, чем такое же пиво с половиной содержания натрия или пиво средней крепости с 25 ммоль / л или без него. Л добавленного натрия. (50 ммоль / л - это примерно 3 грамма поваренной соли на литр и 25 ммоль / л - 1,5 грамма на литр). Таким образом, пиво в умеренных количествах, разбавленное или употребленное с водой, может помочь гидратации после тренировки. Нет причин отказываться от одного пива, но мы всегда должны помнить о негативных последствиях употребления большего количества пива / алкоголя (Jeukendrup, 2018, <https://bit.ly/2FuzNI4>).

Сравнение напитков

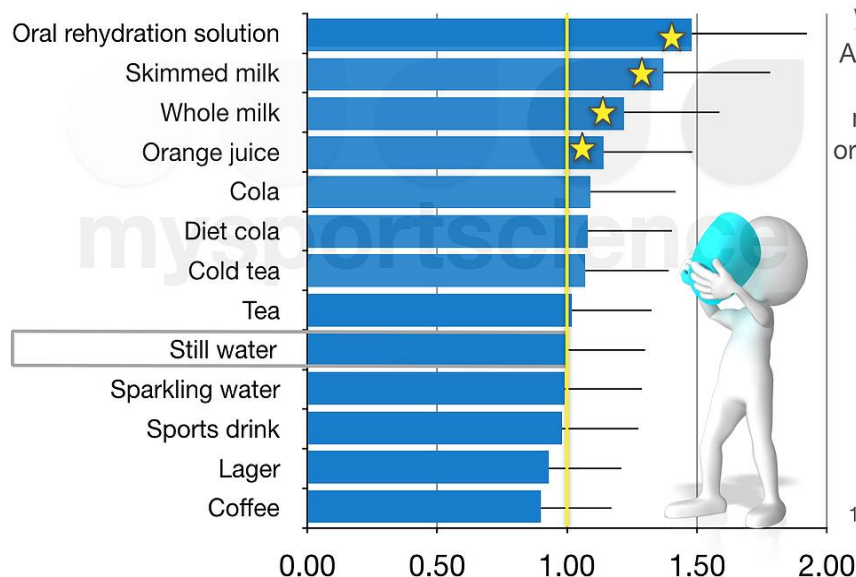
Профессор Рон Моган и его коллеги (R. J. Maughan et al., 2016) решили сравнить несколько различных напитков и зафиксировать гидратирующие свойства в том, что они назвали индексом гидратации напитка (BHI). Об этом говорится в (A. E. Jeukendrup, 2016b). По сути, индекс сравнивает, сколько напитка сохраняется через 2 часа после употребления, по сравнению с тем же количеством воды. Чем выше показатель, тем больше жидкости удерживается в организме. Они сравнили 13 напитков. Семьдесят два добровольца выпили по 1 литру каждого из этих напитков. В течение следующих 2 часов была собрана моча. 2 часа - это практическое время, потому что оно, вероятно, похоже на обычные модели потребления напитков (в отличие от 4 часов, которые использовались во многих предыдущих исследованиях) (Jeukendrup, 2018, <https://bit.ly/2exXoVU>).



Рисунок 1: Индекс гидратации напитка - это показатель того, насколько быстро эти напитки могут восстанавливаться в течение нескольких часов после обезвоживания.

Beverage Hydration Index

The higher the value, the better fluid is retained in the body



mysportscience
Unlock the Power of Science to Optimize Performance

@jeukendrup

www.mysportscience.com

After 2 h, full-fat milk, skimmed milk, ORS, and orange juice had a higher BHI than still water (all differences $\star P < 0.05$)

Maughan et al
Am J Clin Nutr
103: 717-723, 2016

Источник: Jeukendrup, 2016b, <https://goo.gl/Q6nnJV>.

Beverage Hydration Index	Индекс гидратации напитков
Oral rehydration solution	Раствор для пероральной регидратации
Skimmed milk	Обезжиренное молоко
Whole milk	Цельное молоко
Orange juice	апельсиновый сок
Cola	Кола
Diet cola	Диетическая кола
Tea	Чай
Still Water	Стоячая вода
Sparkling Water	Газированная вода
Sport drink	Спортивный напиток
Lager	Пиво
Coffee	Кофе
After 2 h, full- fat milk, ORS, and Orange juice had a higher BHI tan still wáter (all diferences $P < 0.005$)	Через 2 часа полножирное молоко, ПРС и апельсиновый сок имели более высокий показатель ВНІ, загар, еще более влажный (все различия $P < 0,005$).



Результаты показали, что некоторые напитки обладают лучшими увлажняющими свойствами, чем вода. Возможно, неудивительно, что растворы для пероральной регидратации получили наибольшую оценку. Эти тщательно исследованные напитки быстро приносят жидкость, а высокое содержание электролитов отвечает за задержку жидкости (но они не очень вкусны). Но обезжиренное молоко, цельное молоко и апельсиновый сок также показали хорошие результаты. Эти напитки более калорийны и содержат больше ингредиентов, которые могут замедлить опорожнение и абсорбцию желудка, но в целом приводят к большей задержке жидкости.

Другие эффекты, которые могут быть несколько неожиданными для некоторых, заключались в том, что пиво (лагер), кофе и чай имели оценки, очень похожие на воду. Они определенно не проявляли обезвоживающих свойств, о которых часто говорят. Разница между пивом, кофе, чаем и водой не была статистически значимой. Вероятно, обезвоживающие свойства алкоголя и кофеина уравнивались способностями удерживать жидкость другими ингредиентами. Также возможно, что алкоголь и кофеин в очень небольших количествах не обладают мочегонным действием. Ранние исследования, которые продемонстрировали эти свойства, проводились с гораздо большим количеством алкоголя или кофеина (Jeukendrup, 2018, <https://bit.ly/2exXoVU>).

Далее мы можем узнать из этого исследования, что ряд напитков был очень похож на воду (спортивные напитки, чай, кола, диетическая кола). Таким образом, хотя некоторые напитки лучше удерживают жидкость, чем другие, большинство напитков будут способствовать удовлетворению суточной потребности в жидкости (Jeukendrup, 2018, <https://bit.ly/2exXoVU>).

Потребляемый объем остается наиболее важным фактором. Важнее, чем тип напитка.

Внутривенное введение жидкостей

Регидратации также можно достичь путем внутривенного введения жидкости вместо перорального. При наличии медицинских показаний этот метод может применяться квалифицированным персоналом. Однако питье все же может быть предпочтительным вариантом. В одном исследовании сравнивали пероральную и внутривенную регидратацию после снижения массы тела на 4% и продемонстрировали, что восстановление объема плазмы, осмоляльности плазмы, концентрации натрия в плазме и гормонов, регулирующих жидкость, были одинаковыми независимо от пути введения жидкости. Также не было преимуществ в отношении сердечно-сосудистой системы, терморегуляции или эффективности внутривенного введения жидкости по сравнению с пероральным введением жидкости во время физических упражнений в жару (Kenefick et al., 2007). Таким образом, в большинстве случаев пероральное введение жидкости остается наиболее практичным (и этичным) решением. Однако бывают случаи, когда пероральный прием жидкости невозможен и нецелесообразен (травма, тошнота, рвота), и в этих обстоятельствах медицинский персонал может



решить, что внутривенное введение жидкости является предпочтительным путем для быстрой регидратации.

3.1.3 Восстановление гликогена

Поскольку запасы гликогена в мышцах и печени напрямую связаны с усталостью (низкие запасы гликогена могут привести к раннему началу утомляемости), важно начать восполнение запасов гликогена как можно скорее после тренировки (тяжелая тренировка или матч, когда запасы гликогена истощаются или истощаются). Большая степень). Восполнение запасов гликогена в печени и мышцах может быть достигнуто простым приемом углеводов. Когда запасы гликогена истощаются, этот процесс занимает не менее 24 часов даже у хорошо обученных людей. Оптимизировать синтез гликогена особенно важно, если на восстановление осталось менее 24 часов. В этом и следующем разделах мы обсудим наилучшие способы максимизировать ресинтез гликогена после тренировки. Мы ответим на практические вопросы, например: какое количество углеводов оптимальное? Какой вид углеводов лучший? Какое лучшее время приема? и так далее. Однако прежде чем мы посмотрим на практическую сторону, мы должны понять основные механизмы и факторы, влияющие на синтез гликогена. Поэтому в следующих разделах мы изучим регуляцию синтеза гликогена и обсудим факторы, влияющие на этот процесс.

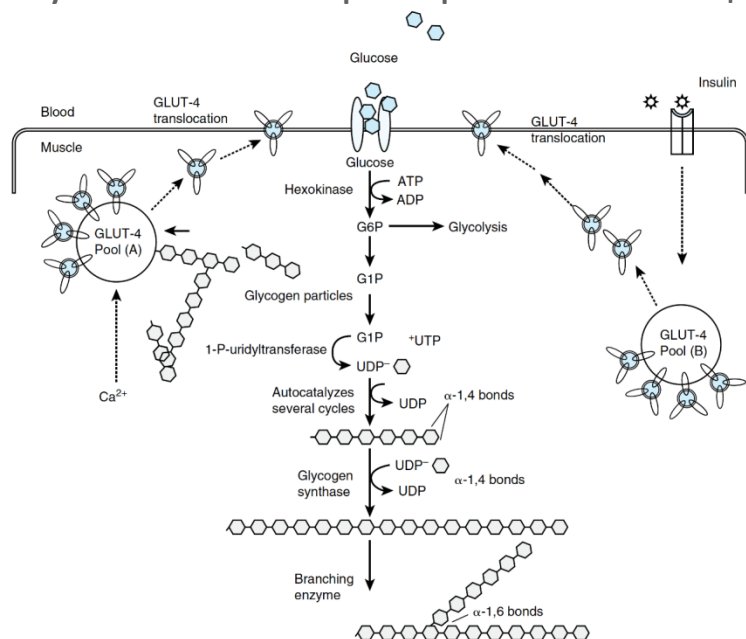
Регуляция синтеза гликогена

Прежде чем гликоген сможет накапливаться в мышцах, мышца должна усвоить глюкозу. «Поглощение глюкозы в мышцах происходит за счет облегченной диффузии переносчиком глюкозы GLUT4» (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Большая часть глюкозы, транспортируемой через сарколемму, будет использовать эту транспортную систему GLUT4. «GLUT4 обычно хранится во внутриклеточных везикулах, но может перемещаться на клеточную мембрану, сливаться с клеточной мембраной и обеспечивать повышенный транспорт глюкозы в клетку» (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

(См. Рисунок 2). Есть два типа сигналов, которые запускают транслокацию GLUT4: сокращение мышц (через ионы Ca^{2+}) и инсулин (секретируемый при приеме глюкозы) (Jeukendrup & Gleeson, 2018).



Рисунок 2: Механизмы транспорта глюкозы в мышцы и синтеза гликогена.



Источник: адаптировано из Jentjens and Jeukendrup, 2003.

Blood	Кровь
GLUT -4 translocation	Транслокация GLUT -4
Glucose	Глюкоза
GLUT -4 translocation	Транслокация GLUT -4
Insulin	Инсулин
Glucose	Глюкоза
Hexokinase	Гексокиназа
Glycolysis	Гликолиз
Glycogen particles	Частицы гликогена
1-P-uridytransferase	1-P-уридитрансфераза
Autocalyze several cycle	Автокализовать несколько циклов
Glycogen synthase	Гликоген-синтаза
Branching enzyme	Разветвляющий фермент

Как только глюкоза попадает в клетку, она немедленно фосфорилируется до глюкозо-6-фосфата (G6P) ферментом гексокиназой. Затем G6P превращается в глюкозо-1-фосфат (G1P), который соединяется с уридинтрифосфатом с образованием уридиндифосфата (UDP) -глюкозы. «Эту UDP-глюкозу можно рассматривать как активированную молекулу глюкозы. Он является переносчиком единиц глюкозы и переносит молекулу глюкозы к концевому остатку глюкозы в ранее существовавшей молекуле гликогена. Затем UDP-глюкоза образует гликозидную связь α -1,4» (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Фермент, который отвечает за этот этап, является ключевым ферментом в процессе синтеза гликогена: гликогенсинтаза. Если бы это был единственный процесс, гликоген представлял бы одну длинную прямую цепочку молекул глюкозы. Однако гликоген - это сильно разветвленная структура. «Точки



разветвления (гликозидная связь -1,6) вводятся в структуру гликогена с помощью фермента ветвления. Когда длина цепи составляет около 12 остатков глюкозы, фермент разветвления отсоединяет цепь длиной около 7 остатков и повторно присоединяет ее к соседней цепи гликозидной связью α -1,6 »(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Разветвление приводит к образованию большой, но компактной молекулы гликогена.

Скорость синтеза гликогена зависит от нескольких факторов (Jeukendrup & Gleeson, 2018):

1. Наличие глюкозы;
2. Транспорт глюкозы в клетку, который, в свою очередь, зависит от:
 - а. Предшествующие упражнения (упражнения стимулируют усвоение глюкозы в течение 1-2 часов после тренировки и повышают чувствительность к инсулину);
 - б. Концентрация инсулина (высокий уровень инсулина стимулирует усвоение глюкозы) и
 - с. Содержание гликогена в мышцах (низкий гликоген в мышцах стимулирует усвоение глюкозы); а также
3. «Активность ферментов (в частности, гликогенсинтазы), которая также зависит от концентрации инсулина (высокий уровень инсулина стимулирует синтез гликогена)». (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

“В результате изменения активности этих ферментов и эффективности этих транспортных механизмов можно выделить две фазы в процессе синтеза гликогена после тренировки »(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

1. Начальная инсулиннезависимая или быстрая фаза и
2. Инсулинозависимая, или медленная фаза.

Быстрая фаза

Фермент, ограничивающий скорость повторного синтеза гликогена после упражнений, гликогенсинтаза, существует в неактивной D-форме и активной I-форме. Когда концентрация гликогена в мышцах низка, в активной I-форме присутствует больше гликогенсинтазы. По мере пополнения запасов гликогена большее количество гликогенсинтазы превращается обратно в D-форму. Физические упражнения активируют гликогенсинтазу (сразу после тренировки до 80% всей гликогенсинтазы может находиться в активной I-форме), но гликоген может образовываться только в том случае, если субстрат (UDP-глюкоза) доступен. Другим важным фактором ресинтеза гликогена, следовательно, является доступность глюкозы, которая в основном зависит от транспорта глюкозы через сарколемму. Во время тренировки и в течение первого часа после тренировки на клеточной мембране доступно большое количество GLUT4, что способствует усвоению глюкозы мышцами. Однако это вызванное физическими упражнениями влияние на транспорт глюкозы длится всего несколько часов в отсутствие инсулина. Увеличение проницаемости сарколеммы для глюкозы после тренировки, по-видимому, напрямую связано с количеством гликогена в мышцах. Когда



концентрация гликогена в мышцах очень низкая, повышенное поглощение глюкозы может длиться дольше. При высоких концентрациях гликогена в мышцах эффект быстро меняется (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Медленная фаза

Когда эффект вызванного упражнениями увеличения транспорта глюкозы проходит, ресинтез гликогена происходит гораздо медленнее. Скорость, с которой происходит синтез гликогена во время медленной фазы, в основном зависит от концентрации циркулирующего инсулина. Это увеличит транслокацию GLUT4 к клеточной мембране и увеличит транспорт глюкозы в мышечные клетки. Кроме того, сокращение мышц увеличивает чувствительность к инсулину, и этот эффект длится несколько часов. Повышение чувствительности к инсулину после тренировки, вероятно, является важным фактором во время медленной фазы синтеза гликогена, когда практически весь транспорт глюкозы является инсулинозависимым. По сравнению с начальной быстрой фазой, во время медленной фазы активность гликогенсинтазы снижается по мере увеличения концентрации гликогена.

Высокая скорость синтеза гликогена в часы после тренировки зависит в первую очередь от доступности субстрата. В отсутствие приема углеводов скорость ресинтеза гликогена чрезвычайно низкая, несмотря на повышенную чувствительность к инсулину, повышенную активность гликогенсинтазы и повышенную проницаемость сарколеммы для глюкозы (Ivy, 1991). Хотя концентрация гликогена в мышцах вряд ли будет полностью восстановлена до уровня до тренировки в течение 24 часов, все методы углеводных добавок, которые максимизируют восстановление гликогена, могут улучшить производительность.

Было признано, что пять основных факторов потенциально важны для восстановления запасов гликогена в мышцах.

1. время приема углеводов
2. скорость приема углеводов
3. тип потребляемых углеводов
4. прием белков и углеводов после тренировки.
потребление кофеина. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Timing

Время приема углеводов оказывает важное влияние на скорость синтеза гликогена в мышцах через несколько часов после тренировки (Ivy, Lee, Brozinick & Reed, 1988) (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Прием углеводов сразу после (в течение 30 минут после) более эффективен, чем отсрочка приема на 2 часа. «Когда прием углеводов откладывается до 2 часов после



тренировки, концентрация гликогена в мышцах через 4 часа ниже на 45% по сравнению с приемом того же количества углеводов сразу после тренировки (Ivy et al., 1988). Средняя скорость ресинтеза гликогена в течение 2 часов после приема внутрь составляет от 3 до 4 ммоль / кг живого веса в час при приеме углеводов через 2 часа и от 5 до 6 ммоль / кг веса тела в час при приеме внутрь сразу после тренировки »(Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Ясно, что когда потребление углеводов откладывается до окончания «инсулино-независимой фазы», меньше глюкозы поглощается и сохраняется в виде гликогена отчасти потому, что переносчики GLUT4 после тренировки медленно возвращаются с мембраны в свои внутриклеточные места хранения.

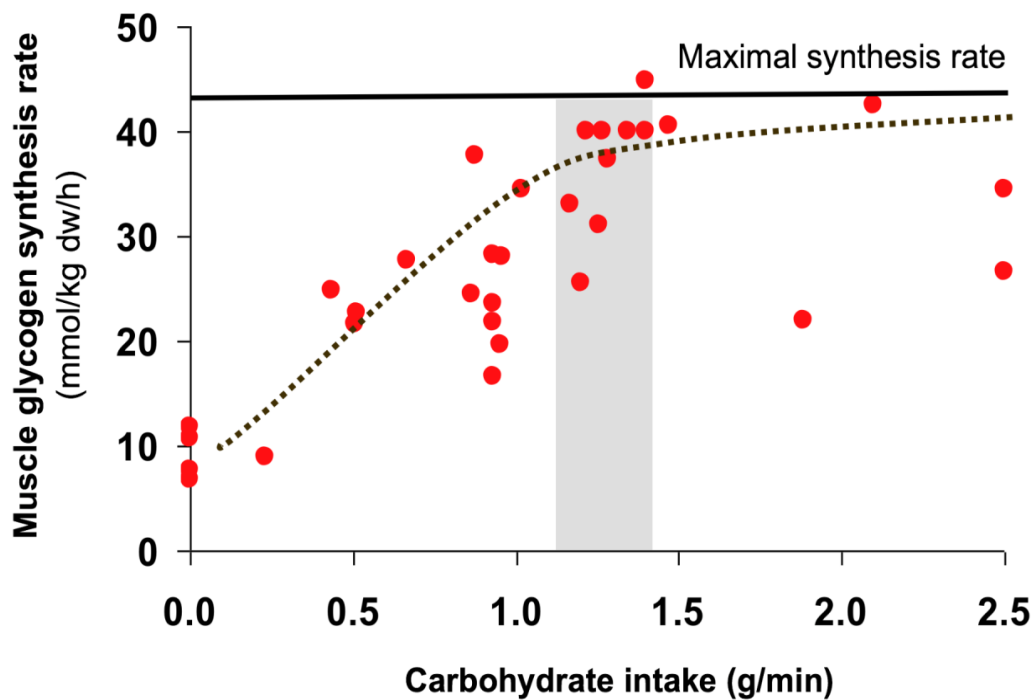
Частота приемов пищи (много небольших приемов пищи или меньшее количество больших приемов пищи), по-видимому, не влияет на синтез гликогена (Burke LM et al., 1996), и, возможно, это связано с тем фактом, что пища накапливается в желудке до того, как она будет поглощена (это будет даже доставка). Также возможно, что, с одной стороны, большие порции пищи приведут к большей доставке и синтезу гликогена; но, с другой стороны, меньшие порции пищи будут поддерживать более высокий уровень инсулина на протяжении всего периода восстановления. Эти эффекты могут уравновесить чистый результат.

Количество

Когда углеводы не поступают в организм после тренировки, скорость синтеза гликогена в мышцах чрезвычайно низкая (1-2 ммоль / кг веса тела в час). Прием углеводов, особенно в первые часы после тренировки, приводит к усиленному восстановлению мышечного гликогена, а гликоген обычно синтезируется со скоростью от 4,5 до 11 ммоль / кг веса тела в час. Скорость синтеза гликогена в большом количестве исследований была нанесена на график зависимости от потребления углеводов на рисунке 3. Ясно, что увеличение потребления приводит к увеличению синтеза. Однако при очень высоком потреблении около 1,4 г / мин (почти 90 грамм в час), похоже, не будет никаких дополнительных преимуществ. Поэтому часто советуют принимать 70-90 граммов в час в первые часы после тренировки. (Айви и др., 1988) Во избежание путаницы: это не важно после каждой тренировки. Это актуально только при серьезном истощении гликогена и небольшом времени восстановления.

Рисунок 3: Синтез мышечного гликогена в зависимости от потребления углеводов после тренировки.





Источник: Перерисовано из (Jentjens & Jeukendrup, 2003).

Muscle glycogen synthesis rate	Скорость синтеза гликогена в мышцах
Maximal synthesis rate	Максимальная скорость синтеза
Carbohydrate intake (g/min)	Потребление углеводов (г / мин)

Типы углеводов

Употребление разных видов углеводов по-разному влияет на синтез гликогена. Blom, Nøstmark, Vaage, Kardel и Maehlum (1987) продемонстрировали, что прием фруктозы приводит к снижению скорости синтеза мышечного гликогена после тренировки по сравнению с приемом глюкозы или сахарозы. Для этого, вероятно, есть 2 основные причины. Во-первых, фруктоза должна быть преобразована в глюкозу в печени, прежде чем ее можно будет использовать для синтеза гликогена в мышцах; этот процесс занимает немного времени. Во-вторых, когда фруктоза всасывается, она проходит через печень, а когда гликоген в печени низкий, фруктоза будет преимущественно использоваться для восстановления гликогена в печени. Другое исследование показало, что фруктоза и галактоза приводят к большему синтезу гликогена в печени после тренировки, чем глюкоза (Decombaz, 2011). Когда глюкоза попадает в организм, больше глюкозы уходит из печени и транспортируется в мышцы. Другие исследования подтвердили, что синтез гликогена из фруктозы происходит только на 50% от скорости синтеза гликогена из глюкозы.

В исследовании Blom et al. (1987), потребление сахарозы приводило к аналогичным уровням мышечного гликогена через 4 часа после тренировки по сравнению с этими уровнями после приема глюкозы.

Поскольку доставка углеводов, по-видимому, является важным фактором, и поскольку было показано, что комбинации нескольких переносимых углеводов, таких как глюкоза и фруктоза, увеличивают абсорбцию и доставку к мышцам во время упражнений, возможно, что эти углеводные смеси могут также увеличить синтез гликогена в мышцах после упражнения. Но недавно было замечено, что комбинация глюкозы и фруктозы, потребляемая с относительно высокой скоростью, не улучшала синтез гликогена по сравнению с потреблением только глюкозы (Wallis et al., 2008). Возможно, фруктоза преимущественно сохраняется в печени после тренировки и, следовательно, »(Jeukendrup A., & Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2FsrRXA>).

меньше достигает мышцы. Тем не менее, синтез гликогена в мышцах был подобен глюкозо-фруктозному по сравнению с глюкозой.

Протеины

Некоторые аминокислоты сильно влияют на секрецию инсулина. Это подняло вопрос, может ли добавление аминокислот или белков к раствору углеводов еще больше усилить синтез гликогена. Завадски, Яспелкис III и Айви (1992) сравнили скорость ресинтеза гликогена после приема углеводов, белков или углеводов плюс белок. Неудивительно, что небольшое количество гликогена сохранялось при приеме только белка. Запасы гликогена увеличивались при приеме углеводов, но когда углеводы принимались вместе с белком, концентрации инсулина и скорость синтеза гликогена были самыми высокими.

Эти результаты были воспроизведены van Loon, Kruijshoop, Verhagen, Saris и Wagenmakers, 2000). Вместо протеина они использовали протеиновый гидролизат, который, как было показано, вызывает сильный инсулиновый ответ. В обоих исследованиях к углеводам был добавлен белок, и таким образом были обеспечены дополнительные калории. Таким образом, van Loon et al. (van Loon et al., 2000) добавили одно дополнительное испытание, в котором было больше углеводов, но такое же количество калорий, как и в углеводно-протеиновой напитке. Несмотря на то, что напиток из углеводов и белков приводил к наибольшему инсулиновому ответу, ресинтез гликогена был самым высоким при изоэнергетическом количестве углеводов. Взятые вместе, эти результаты предполагают, что инсулин является важным фактором, но основным ограничивающим фактором является доступность углеводов.

В последующем исследовании большее количество углеводов, использованное в исследовании van Loon et al. (van Loon et al., 2000) сравнивали с таким же количеством углеводов с добавленным белком. В этом исследовании не наблюдалось дальнейшего эффекта протеина. Это означает, что при высоком / оптимальном потреблении углеводов белок не будет иметь положительного эффекта.

Белок может играть роль в ситуациях, когда более высокое потребление углеводов нецелесообразно, невозможно или нежелательно. Прием белка после тренировки, конечно, также поможет стимулировать синтез белка.

Форма углеводов



Пищевая форма, в которой содержатся углеводы, также может иметь эффект. Жидкий углеводный напиток (или углеводно-белковый коктейль) может иметь другие эффекты, чем еда или энергетический батончик, содержащий углеводы.

«Несколько исследований изучали влияние жидкой и твердой углеводной пищи на синтез гликогена в первые часы после тренировки». (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Кейзер Койперс, ван Краненбург и Гёртен (1987) сравнили жидкую и твердую углеводную пищу и пришли к выводу, что различия в синтезе гликогена нет. Однако критический читатель заметит, что твердая пища в этом исследовании содержала немного больше углеводов, чем жидкая, а различия в содержании жира и белка между двумя приемами пищи были существенными (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Вполне вероятно, что пища, содержащая жир, белок и клетчатку (которые, как было доказано, замедляют опорожнение желудка и всасывание), приведет к снижению скорости всасывания углеводов и снижению инсулиновой реакции. Эти факторы должны замедлять синтез гликогена в мышцах. Доказательства этого исходят из исследований, в которых сравнивали пищу с разными гликемическими индексами.

Гликемический индекс

Гликемический индекс (GI) относится к повышению уровня глюкозы и инсулина в крови в ответ на стандартное количество пищи и определяется путем измерения площади под кривой глюкозы. Измерения GI обычно основаны на приеме 50 г углеводов и измерениях глюкозы в крови в течение 2-часового периода. Чем больше ответ глюкозы, чем больше площадь под кривой, тем больше GI пищи. Продукты обычно делятся на 3 категории: продукты с низким GI, продукты со средним GI и продукты с высоким GI. «Продукты с низким GI имеют GI 55 или меньше, продукты с умеренным GI имеют GI от 56 до 70, а продукты с высоким GI имеют GI 71 или выше» (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Например, яблоки или чечевица вызывают медленное и небольшое повышение концентрации глюкозы в крови, тогда как белый хлеб или картофель приводят к быстрому повышению концентрации глюкозы в крови. Поэтому яблоки и чечевица классифицируются как продукты с низким GI, а хлеб и картофель - как продукты с высоким GI (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Исследования показали, что когда такое же количество углеводов попадает в организм в форме продуктов с высоким гликемическим индексом, это дополнительно стимулирует синтез гликогена в течение 24 часов по сравнению с продуктами с низким гликемическим индексом (Burke, Collier, & Hargreaves, 1993). Вероятно, что большая часть этого эффекта связана с более быстрой доставкой углеводов в первые пару часов после тренировки, когда скорость синтеза гликогена очень высока. Также возможно, что плохое всасывание углеводов с низким гликемическим индексом снижает эффективность.

Таким образом, теоретически предпочтительны источники углеводов с высоким гликемическим индексом. Однако полезность гликемического индекса как инструмента должна быть поставлена под сомнение по ряду причин:



- Во-первых, гликемический индекс любого продукта значительно различается у разных людей; Итак, значение из таблицы может относиться к вам, а может и не применяться.
- Гликемический индекс продуктов также иногда сбивает с толку. Как правило, продукты с большим количеством рафинированного сахара (простых углеводов) имеют высокий гликемический индекс, а сахара с высоким содержанием клетчатки и сложных углеводов имеют более низкий гликемический индекс. Однако некоторые сложные углеводы (крахмал) могут иметь высокий гликемический индекс.
- Спортсмены едят пищу, а не только источники углеводов, а во время еды сочетается несколько различных продуктов. Добавление относительно небольшого количества жира к углеводу с высоким гликемическим индексом может существенно снизить гликемический индекс пищи.
- Гликемический индекс выражается на 50 граммов углеводов в пище. В некоторых случаях это означает, что нужно съесть нереальное количество еды, чтобы получить 50 граммов. Возьмем, к примеру, морковь. Чтобы получить 50 граммов углеводов, нужно съесть почти 1 кг моркови. Таким образом, гликемический индекс становится чисто теоретическим понятием, а не практическим.

Гликемическая нагрузка (ГН) - это относительно новый метод, который был предложен для оценки влияния потребления углеводов, поскольку он учитывает гликемический индекс, но является немного более практичным. GI берет значение гликемического индекса и умножает его на фактическое количество углеводов в порции. GI будет низким, если он находится между 1 и 10, средним, если он находится между 11 и 19, и высоким, если он равен 20 или выше. Продукты с низким GI почти всегда имеют низкий GI. Продукты со средним или высоким GI варьируются от очень низкого до очень высокого. GI - более полезная концепция, но применяется не часто. Большинство людей по-прежнему ссылаются на гликемический индекс.

«Этот индекс следует интерпретировать и использовать с осторожностью. Вероятно, это может быть полезным инструментом, если хорошо известны его ограничения и подводные камни» (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Кофеин

«Совместное употребление кофеина с углеводами во время упражнений увеличивает доставку глюкозы в мышцы и окисление» (Yeo, Jentjens, Wallis, & Jeukendrup, 2005). (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Если кофеин может увеличить доставку глюкозы во время тренировки, он может сделать то же самое после тренировки, потенциально увеличивая синтез гликогена в мышцах. В исследовании Pedersen et al. (Pedersen et al., 2008) кофеин добавляли к углеводному напитку и давали участникам в течение 4-часового периода восстановления после изнурительных упражнений, истощающих гликоген. В этом исследовании кофеин (большое количество 8 мг / кг) улучшал синтез гликогена. Однако последующее исследование Beelen et al. не подтвердили этот вывод. В этом исследовании совместный прием кофеина не увеличивал дополнительно синтез мышечного гликогена после тренировки (Pedersen et al., 2008). Разница между двумя исследованиями заключалась в том, что в последнем испытуемые получали рекомендованное количество углеводов после тренировки (1,2 г / кг / ч), тогда как в первом потребление углеводов было ниже. Таким образом, вполне возможно, что при



потреблении достаточного количества углеводов даже большое количество кофеина не будет иметь эффекта (Jeukendrup A., & Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2qTprHq>).

Креатин

Несколько исследований показали, что добавление креатина (обычно 20 граммов моногидрата креатина в течение 5 дней) может улучшить восстановление гликогена после тренировки (Derave et al., 2003; Nelson, Arnall, Kokkonen, Day, & Evans, 2001; Robinson, Sewell, Hultman, & Greenhaff, 1999). Креатин, по-видимому, «сенситизирует» мышцы после тренировки на поглощение глюкозы, скорее всего, из-за воздействия на переносчики GLUT4. Есть и другие потенциальные преимущества креатина, о которых мы поговорим в другом месте. Одним из побочных эффектов креатина является увеличение веса на 1-2 кг (задержка жидкости), и это необходимо учитывать при использовании добавки.



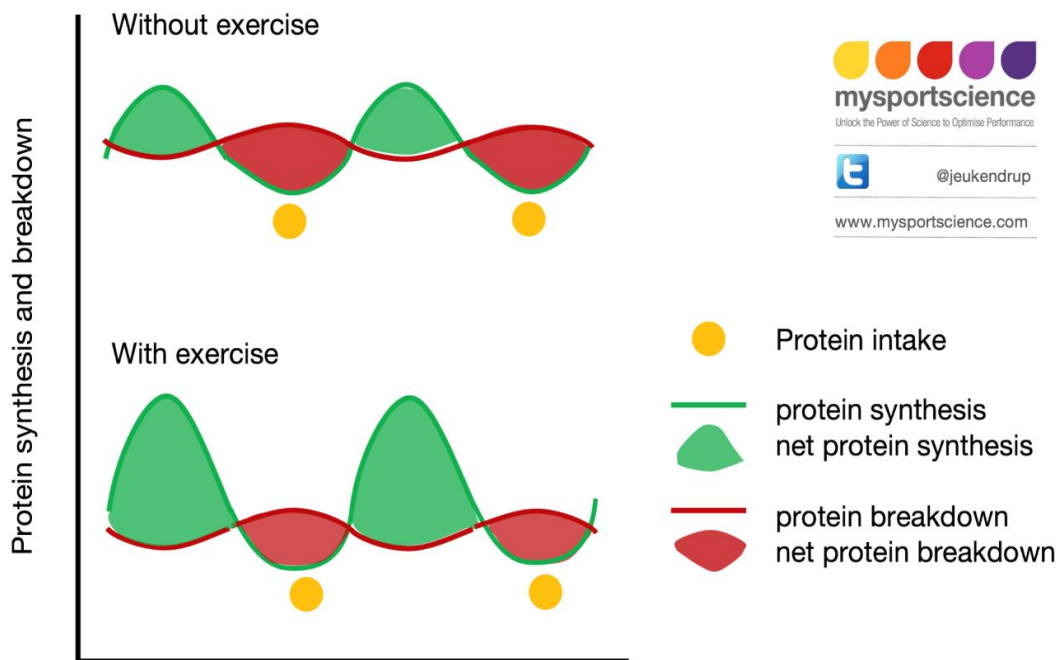
3.2 Оптимизация синтеза белка (142)

3.2.1 Оптимизация синтеза белка

В условиях покоя более высокие концентрации аминокислот в плазме оказывают стимулирующее действие на синтез белка (Bennet et al. 1990, 1991). Сразу после тренировки этот эффект увеличения доступности аминокислот на синтез белка преувеличен по сравнению с состоянием покоя (Biolo et al. 1997). Таким образом, аминокислоты и упражнения, похоже, оказывают аддитивное влияние на чистый синтез белка. Обратите внимание, однако, что в этих ранних исследованиях аминокислоты вводились, а концентрации аминокислот в плазме были повышены до чрезвычайно высоких уровней (намного выше, чем наблюдаемые после перорального приема смесей аминокислот или белка). Внутривенное вливание - непрактичный метод для спортсменов, а введенные аминокислоты обходят печень. Печень обычно извлекает от 20% до 90% всех аминокислот после абсорбции из кишечника (явление, известное как внутренняя экстракция при первом прохождении). Поэтому неясно, следует ли ожидать подобных эффектов после перорального приема аминокислот. Последующее исследование изучило этот вопрос (Tipton et al. 1999). В этом исследовании после упражнений с отягощениями потреблялось относительно большое количество аминокислот. После упражнений баланс мышечного белка был отрицательным после приема плацебо, но при приеме аминокислот чистый баланс был положительным, в основном из-за увеличения синтеза мышечного белка. Из этого исследования и ограниченного числа других исследований можно сделать вывод, что употребление аминокислот или белка после тренировки увеличивает синтез чистого белка. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Рисунок 4: Синтез и распад белка - непрерывные процессы





Protein synthesis and breakdown	Синтез и распад белка
Without exercise	Без упражнений
Protein intake	Потребление протеина
Protein synthesis net protein synthesis	Синтез белка чистый синтез белка
Protein breakdown net protein breakdown	Распад белка чистый распад белка

Источник: Jeukendrup, с сайта mysportscience.com. Синтез и распад белка - это непрерывные процессы. После кормления синтез белка стимулируется. Через несколько часов происходит возврат к чистому распаду белка, так что все тело находится в балансе белков. При упражнениях и кормлении синтез белка увеличивается больше, чем его распад, и происходит чистое накопление белка. С сайта mysportscience.com.

Адаптация - это более длительный процесс, который происходит, когда тренировочный стресс производит сигналы, которые запускают каскад реакций, в конечном итоге приводящих к увеличению чистого синтеза белка. Со временем повторяющееся небольшое увеличение синтеза определенных белков приведет к улучшению функции. С помощью питания мы можем влиять на сигналы и потенциально усиливать их, так что появляется больше стимулов для синтеза белка (это будет обсуждаться в разделах, посвященных периодическому питанию). Однако процесс синтеза белка во многом зависит от самого питания и особенно от потребления белка, что также важно. Здесь мы обсудим, как мы можем улучшить синтез чистого мышечного белка. Мы обсудим оптимальное количество белка, время приема, тип белка, который следует принимать, а также наличие других питательных веществ, улучшающих или ухудшающих процесс, и так далее.

Количество белка

Начнем с важного факта: большинство спортсменов ежедневно превышают даже самые высокие рекомендации по потреблению белка. Это делает обсуждение суточной



потребности в белке в основном академическим, не имеющим практического значения (Tipton & Witard, 2007). Однако вопросы о количестве белка в каждом приеме пищи, необходимом для оптимизации синтеза белка, по-прежнему очень актуальны (этот момент также будет обсуждаться в разделе «время»).

Одно из первых исследований Bohe Low, Wolfe и Rennie (2003) продемонстрировало, что внеклеточные, а не внутриклеточные концентрации аминокислот важны для скорости синтеза белка. Прием белков увеличивает концентрацию внеклеточных аминокислот, но, по-видимому, существует плато, выше которого синтез белка не стимулируется. Это стало основой ряда отличных исследований, направленных на определение оптимального количества белка в одном приеме пищи. Другими словами: сколько белка необходимо принять, прежде чем будет достигнуто это плато в синтезе белка? Часто цитируемое исследование Мура и др. (Moore et al., 2009) сравнили потребление 5, 10, 20 и 40 граммов белка после тренировки с отягощениями. Синтез белка измеряли в течение следующих 4 часов. Исследование показало, что 20 граммов лучше 10 граммов, а 10 граммов лучше 5 граммов. Тем не менее, 40 граммов белка оказали очень похожее действие на 20 граммов. На основании этих результатов часто рекомендуется употреблять около 20 граммов белка за один прием пищи. Больше может и не понадобиться. Другие исследования показали аналогичные результаты: потребуется от 20 до 25 г белка или от 8 до 10 г незаменимых аминокислот для оптимизации синтеза белка (Moore et al., 2009; Symons, Sheffield-Moore, Wolfe, & Paddon-Jones, 2009; Witard et al., 2014), независимо от статуса обучения (Witard et al., 2014). Потребление большего количества белка не стимулирует синтез мышечного белка (Moore et al., 2009; Witard et al., 2014). Эти исследования проводились с использованием сывороточного протеина в качестве исходного белка, но аналогичные результаты были получены «с использованием цельной пищи (нежирный говяжий фарш) у молодых мужчин и женщин (Symons et al., 2009). В этом исследовании умеренное количество (~ 30 г белка) было столь же эффективным, как и высокое (~ 90 г белка) для стимуляции синтеза мышечного белка» (Symons et al., 2009). (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>). Избыток белка приведет к более высокой скорости окисления белка (Moore et al. 2009; Witard, 2014) и увеличению выработки мочевины (Witard et al., 2014). Эти данные вместе показывают, что существует предел скорости, с которой аминокислоты могут использоваться для синтеза мышечного белка. Иногда это называют «эффектом полной мускулатуры» (Atherton et al., 2010) (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>).

Мур и др. (2015) выполнили регрессионный анализ всех существующих исследований доза-ответ и пришли к оценке дозы белка, которая выражается

на килограмм массы тела. Был сделан вывод, что доза белка, сверх которой не наблюдалось дальнейшего увеличения синтеза мышечного белка у молодых мужчин, составляла 0,325 г / кг массы тела за один прием пищи. Чтобы учесть индивидуальную изменчивость, они предложили добавить к этой оценке два стандартных отклонения, что дает оптимальную дозу белка 0,4 г / кг массы тела на один прием пищи» (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>).



Пока это сообщение кажется последовательным и прямым, а также повсеместно принятым в спорте.

Однако также важно быть критичным и помнить, как были получены эти результаты. Исследования, хотя и тщательно проводимые с использованием новейших широко подтвержденных методов, имеют некоторые ограничения. Обычно они выполняются с упражнениями с отягощениями для небольшой группы мышц, и биопсия мышц берется из этой небольшой группы мышц (например, *m. Spreadus lateralis*) до и после 4-5-часового периода. Затем синтез белка рассчитывается на основе аминокислот, включенных в эту группу мышц. Мышечные группы, которые были неактивными, в этот период не будут или практически не включать аминокислот.

Недавно в исследовании Macnaughton et al. (Macnaughton et al., 2016) утверждали, что, когда задействована большая мышечная масса (как это бывает у большинства спортсменов и в большинстве практических ситуаций), может потребоваться большее количество белка для достижения оптимальной скорости синтеза белка. Их участники выполняли упражнения с отягощениями со всеми основными группами мышц, а затем были выполнены те же измерения. Было два основных наблюдения:

Во-первых, в этом исследовании синтез белка был ниже, чем в предыдущих исследованиях. Возможно, это связано с тем, что теперь такое же количество белка приходилось разделять с большим количеством мышц. Во-вторых, они заметили, что употребление 40 г белка приводит к большему синтезу белка, чем 20 г белка. Это, конечно, контрастирует с предыдущими исследованиями. Авторы обсуждают, что, возможно, когда тренируются большие группы мышц, требуется больше белка. (Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>).

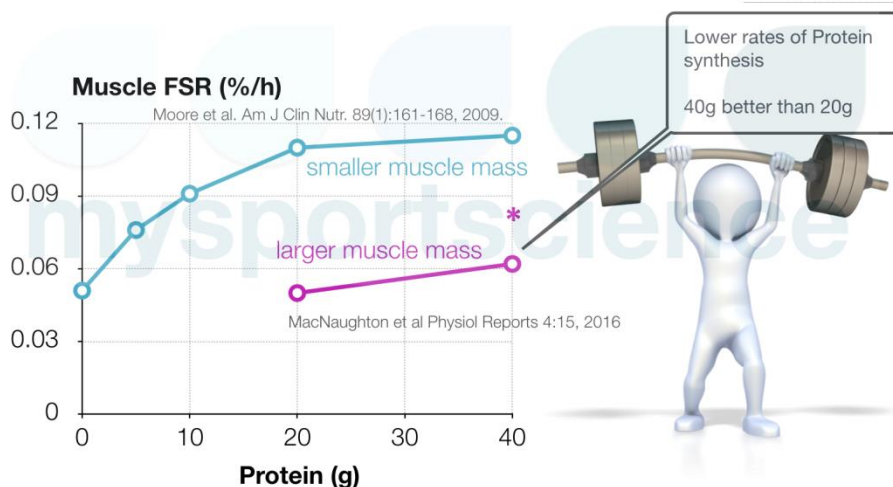
Поскольку это только одно исследование, нам нужно будет посмотреть, как будут развиваться рекомендации в будущем, но возможно, что рекомендации придется адаптировать в сторону увеличения, если больше исследований покажут, что при тренировке больших групп мышц более высокое потребление белка обеспечит лучшие результаты (Jeukendrup, 2016a).

Рисунок 5: Сколько белка необходимо для увеличения мышечной FSR?



How much protein?

Study performed with larger muscle mass:



How much protein?	Сколько белка?
Muscle FSR (%/H)	Мышца FSRH)
Smaller muscle mass	Меньшая мышечная масса
Large muscle mass	Большая мышечная масса
Lower rates of Protein synthesis	Снижение скорости синтеза белка
40g better than 20g	40 г лучше загар 20 г

Скорость фракционного синтеза мышц (FSR) в двух исследованиях (Jeukendrup A. E., 2016a). В синем Мур и др. (Moore et al., 2009) и фиолетовым Macnaughton et al. (Macnaughton et al., 2016).

Источник: Jeukendrup, 2016a, <https://bit.ly/2Dx2KAo>

Когда использовалась меньшая мышечная масса, FSR была выше, но стабилизировалась примерно после 20 граммов потребляемого белка. Тренировка большей мышечной массы приводила к более низким значениям FSR, но умеренное удвоение потребления белка еще больше увеличивало FSR. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Типы белка

Не все белки одинаковы. Аминокислотный состав и пищеварительные свойства белков могут сильно различаться, и это может влиять на доставку аминокислот и синтез белка. Часто белки классифицируются как быстрые или медленные (это относится к скорости, с которой белки могут перевариваться, а их аминокислоты могут всасываться). Бойри и его коллеги (Vooris et al., 1997), вероятно, были первыми, кто сравнил быстрые и медленные белки. Они сравнили сывороточный белок с казеином или соевым белком, которые являются тремя наиболее часто потребляемыми изолированными источниками белка. И казеин, и сыворотка получают из цельного молока, а сою - из растений.

Около 80% молочного белка составляет казеин, а остальные 20% - сыворотка. Сыворотка



и соя являются быстрыми белками, потому что организм относительно быстро их переваривает и усваивает, что приводит к быстрому увеличению концентрации аминокислот в крови. С другой стороны, казеин - это медленный белок: он дольше расщепляется и усваивается. (Jeukendrup A., & Gleeson, 2018).

Казеин имеет тенденцию к свертыванию в желудке, замедляя опорожнение желудка. Из-за различий в составе и скорости доставки сыворотка, соя и казеин различаются по скорости синтеза белка.

В серии исследований тяжелоатлетов в лаборатории профессора Стюарта Филлипса было обнаружено, что молочный белок приводит к более высокой скорости синтеза белка и большему увеличению мышечной массы по сравнению с соевым белком (Hartman, 2007; Wilkinson, 2007). Однако следует отметить, что белок, который является оптимальным в одном состоянии, не обязательно является оптимальным во всех условиях.

Быстрые белки, такие как сыворотка и соя, вызывают больший рост синтеза мышечного белка, но скорость синтеза белка также падает быстрее, чем казеин (Tang et al., 2009). Синтез белка всего тела стимулируется в большей степени с помощью сывороточного белка, тогда как распад белка в организме подавляется с приемом казеина (Boirie et al., 1997). После приема изолированного казеина, сои и сывороточного протеина (все они содержат 10 г незаменимых аминокислот) рост синтеза мышечного протеина в течение следующих 3 часов был максимальным для сывороточного протеина (Tang, Moore, Kujbida, Tarnopolsky, & Phillips, 2009). Интересно, что соевый белок синтезировал более высокий мышечный белок, чем казеин (Tang et al., 2009). Таким образом, наиболее эффективным источником белка является сыворотка, за которой следуют соя и казеин соответственно.

Одним из наиболее важных факторов, определяющих анаболический ответ, является количество аминокислоты лейцина. Лейцин является как строительным блоком для белка, так и сигнальной молекулой для стимуляции путей инициации трансляции, что приводит к увеличению скорости синтеза белка (K. D. Tipton, Ferrando, Phillips, Doyle, & Wolfe, 1999). Не вдаваясь в подробности механизмов: лейцин стимулирует механическую мишень рапамицинового комплекса-1 (mTOR), ключевого сигнального белка, и вызывает повышение синтеза мышечного белка (McGlory, Devries, & Phillips, 2017). Следовательно, употребление белков с высоким содержанием лейцина может быть полезным для запуска повышения синтеза мышечного белка. Таким образом, качество белка (отраженное в содержании лейцина, незаменимых аминокислот и усвояемости белка) влияет на изменения в синтезе мышечного белка, что в конечном итоге может повлиять на массу скелетных мышц. Сывороточный протеин содержит 10,0 г лейцина на 100 г, что более чем больше лейцина на грамм, чем казеин (8,2 г / 100 г) или соя (5,9 г / 100 г). Продукты, содержащие относительно высокое содержание лейцина, показаны в Таблице 2. После употребления белка с относительно высоким содержанием лейцина, такого как сыворотка, быстрая и относительно большая аминокислотная доставка может увеличивать доставку незаменимых



аминокислот и, в частности, лейцина в мышцы, чтобы определенный порог, запускающий стимуляцию синтеза мышечного белка и связанных с ним анаболических путей. (Jeukendrup, & Gleeson, 2018).

Участники, которым давали 25 г сывороточного протеина или только четверть этого количества сывороточного протеина (6,25 г) в сочетании с 5 г лейцина, показали увеличение MPS в покое и после тренировки с отягощениями в такой же степени, несмотря на четырехкратное снижение дозы протеина. (Churchward-Venne et al., 2014). Похоже, что лейцинемия (и, вполне возможно, возникающая внутримышечная концентрация лейцина) является движущей силой реакции синтеза мышечного белка и, таким образом, «анаболического процесса во время восстановления после упражнений». (Мортон, МакГлори и Филлипс, 2015 г., <https://bit.ly/2DKCSB3>).

«Пороговое» количество лейцина для «запуска» стимуляции синтеза мышечного белка составляет ~ 3 г лейцина на прием пищи (Churchward-Venne et al., 2014), что может быть основным фактором, определяющим рекомендуемое количество белка на один прием пищи. ~ 25 г на прием пищи или ~ 0,4 г / кг массы тела на прием пищи, упомянутый ранее.

Также следует отметить, что добавление двух других BCAAs, изолейцина и валина, не улучшает синтез мышечного белка (Churchward-Venne et al., 2014), поэтому имеет смысл принимать только лейцин (или употреблять пищевые белки), которые, как известно, имеют высокое содержание лейцина, поскольку все три BCAAs имеют один и тот же переносчик, и ожидается, что потребление смеси BCAAs приведет к антагонизму в отношении поглощения из кишечника и в мышцы и, таким образом, будет не так эффективно, как один лейцин в стимуляции синтеза мышечного белка. Несмотря на непрекращающуюся популярность добавок BCAAs среди спортивного населения, существует очень мало доказательств их эффективности в стимулировании синтеза мышечного белка или прироста мышечной массы, и в настоящее время советуют принимать неповрежденные пищевые белки с высоким содержанием лейцина и быстро перевариваемые. Более медленная и более продолжительная аминокислота, сопровождающая прием казеина, может быть более эффективной для поддержания синтеза мышечного белка и, возможно, для ослабления отрицательного чистого белкового баланса во время сна или в течение более длительных периодов времени, но это требует подтверждения в будущих исследованиях. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).



Таблица 2: Содержание лейцина в различных продуктах питания

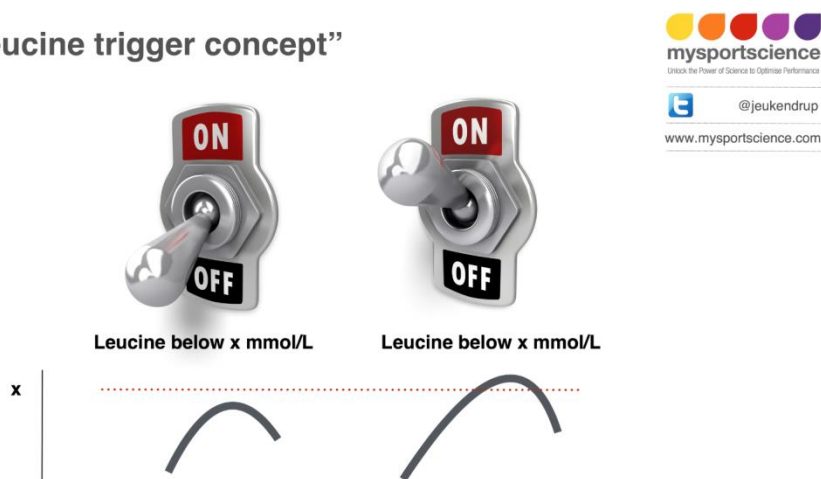
Еда	Количество, необходимое для подачи 3 г лейцина	Содержание лейцина (г / 100 ккал)
Изолят сывороточного протеина	25 g	2.90
Изолят соевого белка	37 g	2.00
Греческий йогурт	300 g	1.75
Куриная грудка	170 g	1.70
Постная говядина	170 g	1.30
Сыр	105 g	1.09
Яйцо	4 large eggs	0.94
Обезжиренное молоко	900 ml	0.93
Фасоль	525 g	0.65
Тофу	600 g	0.44
Сырой арахис	180 g	0.29
Хлеб	770 g (14 slices)	0.07

Источник: Jeukendrup & Gleeson, 2018.

«Концепция триггера лейцина. Более быстро усваиваемый белок, содержащий относительно высокую долю лейцина (например, сыворотку), наиболее эффективен для увеличения синтеза мышечного белка» (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Рисунок 6: Графическое представление концепции триггера лейцина

“Leucine trigger concept”



Leucine trigger concept	Концепция триггера лейцина
Leucine below x mmol/L	Лейцин ниже x ммоль / л
Leucine below x mmol/L	Лейцин ниже x ммоль / л

Источник: Jeukendrup, mysportscience.com. Считается, что концентрации лейцина в плазме должны быть выше определенного порога, прежде чем лейцин запустит синтез белка посредством передачи сигналов mTOR. Требуемая концентрация неизвестна, но кажется, что прием 2-3 граммов лейцина запускает синтез белка.

Качество белка - это показатель аминокислот с поправкой на усвояемость белка (PDCAAS), который представляет собой метод оценки качества белка, основанный на потребностях в аминокислотах и их способности переваривать его. Рейтинг PDCAAS был принят Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией Объединенных Наций / Всемирной организацией здравоохранения (ФАО / ВОЗ) в 1993 году как «предпочтительный» лучший метод определения качества белка. Максимальный балл 1,0 означает, что после переваривания белка он обеспечивает на единицу белка 100% или более необходимых незаменимых аминокислот. (Шаафсма, 2000 г., <https://bit.ly/2DPdwCO>)

Однако содержание лейцина, вероятно, более важно, чем PDCAAS источника белка.

Время приема белка

Время приема пищи после тренировки важно для баланса между синтезом и расщеплением белка. Исследования изучали потребление белка сразу после тренировки, с задержкой на 1–3 часа или перед тренировкой. В одном исследовании Tipton et al. (Кевин Д. Типтон и др., 2001) добровольцы принимали 6 г незаменимых аминокислот плюс 35 г углеводов непосредственно перед началом и сразу после завершения интенсивной тренировки с отягощениями ног. Поглощение аминокислот было больше, когда питательные вещества принимались до тренировки, по сравнению с последующим.

Таким образом, эти данные свидетельствуют о том, что анаболический ответ на упражнения и прием аминокислот и углеводов может быть выше при приеме пищи перед тренировкой по сравнению с приемом после тренировки, будь то сразу после тренировки, через 1 час после тренировки или через 3 часа после тренировки. Однако возможно, что дизайн исследования повлиял на результаты: в этих исследованиях использовались незаменимые аминокислоты. Когда исследование было «повторено с сывороточным белком (без углеводов), разница между кормлением до и после тренировки с отягощениями не была очевидна» (K. D. Tipton et al., 2007).

Эти наблюдаемые различия, вероятно, связаны с доставкой аминокислот в мышцы.



Свободные аминокислоты, принятые перед тренировкой, могут привести к увеличению доставки аминокислот (из-за увеличения притока крови к активным мышцам во время тренировки) и привести к лучшему усвоению аминокислот по сравнению с аминокислотами, полученными после тренировки. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Помимо доставки аминокислот, еще один фактор может определять анаболический ответ. Как обсуждалось выше, лейцин может служить сигнальной молекулой и стимулировать пути инициации трансляции, что приводит к усилению синтеза белка.

В течение некоторого времени было известно, что одни упражнения с отягощениями приводят к продолжительному повышению синтеза мышечного белка, по крайней мере, на 48 часов, и к распаду мышечного белка в течение 24 часов (Phillips, Tipton, Aarsland, Wolf, & Wolfe, 1997). Это означает, что даже в базальном состоянии натошак происходит последующее увеличение обмена мышечных белков. В этой ситуации распад мышечного белка превысит синтез мышечного белка, и, таким образом, происходит чистая потеря тканевого белка. Упражнения по существу заставляют мышцы быть более отзывчивыми с точки зрения увеличения реакции синтеза мышечного белка на аминокислоты после приема пищи, содержащей белок. Эта повышенная чувствительность длится не менее 24 часов (Burd et al., 2011) и, возможно, до 48 часов, но со временем снижается. Таким образом, наиболее выгодно принимать белок и вызывать гипераминокислотемию в послетренировочный период. Также было высказано предположение, что прием протеина перед тренировкой также может активизировать систему и дать некоторые преимущества по сравнению со стратегией приема добавок после тренировки. Однако употребление 20 г белка до или через 1 час после 10 подходов упражнений на разгибатели колена привело к аналогичным показателям поглощения аминокислот (K. D. Tipton et al., 2007). В других исследованиях не было продемонстрировано никаких преимуществ от приема аминокислот перед тренировкой (LM Burke et al., 2012; Fujita et al., 2009), поэтому в настоящее время общий научный консенсус состоит в том, что оптимально принимать белок сразу после приема пищи. упражнения на сопротивление. Более того, возможно, что вызванная кормлением передэксплуатация или во время аминокислотемии может притупить последующий посттренировочный ответ синтеза мышечного белка на аминокислоты из-за перекрытия аминокислотемических ответов и эффекта «наполнения мышц» (Atherton et al., 2010). Недавний метаанализ, изучающий время потребления белка и гипертрофию, пришел к выводу, что употребление протеиновой добавки после тренировки вскоре после тренировки с отягощениями положительно повлияло на гипертрофию (Schoenfeld, Aragon, & Krieger, 2013), но количество общего потребления белка было самым сильным предиктором мышечной гипертрофии, и время потребления белка не влияло на гипертрофию. Тем не менее, разумный практический совет состоит в том, что спортсменам следует рассматривать период после тренировки как время для регидратации (для восстановления потерь



жидкости и электролитов), дозаправки (для восстановления гликогена), восстановления (поврежденных мышечных волокон) и ремоделирования (адаптации к тренировке). стимул), в совокупности именуемый «4R», и что для достижения целей, определенных в 4R, необходимо принять соответствующее количество жидкости, электролитов, углеводов и белка. (Jeukendrup & Gleeson, 2018)

Время и количество потребляемого белка в течение дня, необходимого для оптимизации адаптации к тренировкам, все еще остаются предметом споров. В исследовании острых заболеваний «промежуточный» режим приема сывороточного протеина (4 × 20 г каждые 3 часа) в течение 12-часового периода восстановления после тренировки с отягощениями оказался более эффективным, чем прием больших болюсов (2 × 40 г каждые 6 часов) или импульсный протокол (8 × 10 г каждые 1,5 часа) для стимуляции синтеза мышечного белка (Areta et al., 2013). (Morton et al., 2015, <https://bit.ly/2DKCSB3>).

Эти результаты согласуются с эффектом «наполнения мышц», когда доставки аминокислот достаточно (~ 20 г), аминокислоты больше не используются для синтеза мышечного белка, а вместо этого в основном окисляются (Atherton et al., 2010; Moore et al. др., 2009; Витард и др., 2014).

Однако следует отметить, что во многих исследованиях, изучающих влияние белковой пищи на синтез мышечного белка, либо вводились аминокислоты, либо предоставлялись пероральные смеси аминокислот или белок в болюсной форме. В реальной жизни люди обычно едят пищу, состоящую из смеси макроэлементов (т. Е. Белков, углеводов и жиров). Состав макроэлементов и форма приема пищи могут влиять как на вызванное приемом пищи повышение гипераминоацидемии, так и на последующий синтез белка в мышцах и в организме. В будущих исследованиях необходимо изучить влияние смешанных приемов пищи с макроэлементами на скорость синтеза мышечного белка и распад мышечного белка в течение более длительных периодов времени (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Протеин перед сном

Если мы изучаем синтез и распад белка у людей в течение 24 часов, становится очевидным, что обмен белка во время сна низкий. Это потому, что обычно это единственное время суток, когда мы голодаем дольше. Нет ни аминокислот, ни лейцина для включения синтеза белка. Таким образом, исследователи из Маастрихтского университета предположили, что, если бы белок можно было доставлять в ночное время, это могло бы улучшить общий синтез белка и восстановление. Первоначально они изучали это на пожилых людях, но исследование Res et al. (Res et al., 2012), в котором здоровые мужчины-субъекты принимали 40 г белка перед сном, показали, что синтез мышечного белка стимулировался, а чистый баланс белка улучшался в течение ночи. Количество потребляемого белка было большим и не очень практичным. В результате за исследованием последовало другое исследование. В этом 12-недельном исследовании прогрессивных упражнений с отягощениями «показано, что напиток

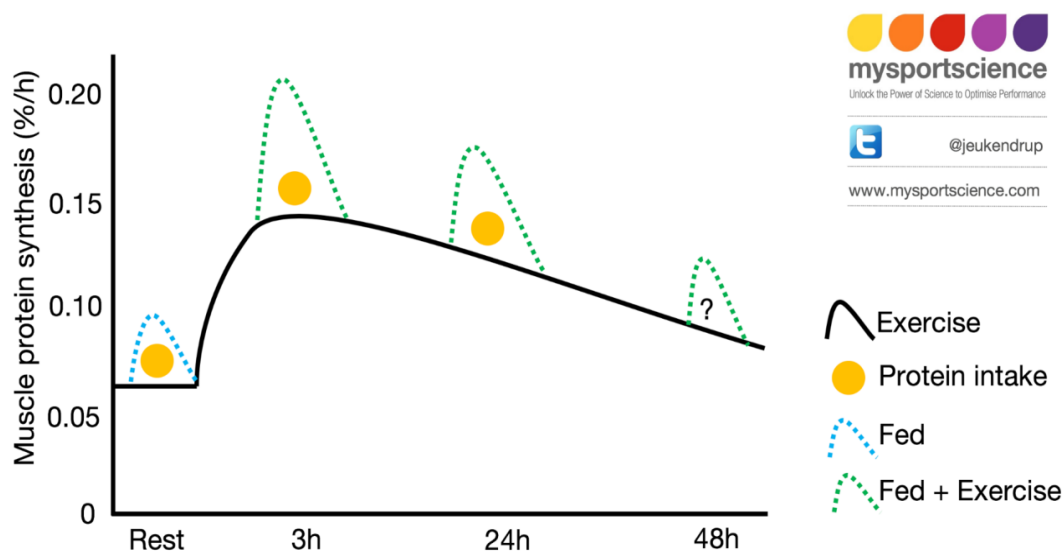


перед сном, содержащий 27,5 г белка, 15 г углеводов и 0,1 г жира, увеличивал мышечную массу, площадь мышечных волокон и силу по сравнению с некалорийным напитком-плацебо. »(Snijders et al., 2015, <https://bit.ly/2r7KCpc>). Однако критический читатель заметит, что контрольная группа плацебо в этом исследовании не получала протеиновых добавок, что привело к разнице в общем потреблении протеина на 0,6 г / кг. Следовательно, нельзя сбрасывать со счетов тот факт, что наблюдаемые эффекты были связаны с более высоким потреблением белка, а не со временем приема. Тем не менее, авторы приводят веские аргументы относительно того, почему более вероятно, что эффекты являются результатом времени, а не суммы.

Таким образом, кажется, что время потребления белка является важной переменной, которую следует учитывать при оптимизации восстановления и гипертрофии скелетных мышц. Кажется оптимальным употреблять белок после тренировки, хотя предполагаемое «анаболическое окно» для приема белка длится не менее 24 часов. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

(~ 0,4 г / кг массы тела на прием пищи) в течение дня. Наконец, «прием больших доз белка (~ 0,6 г / кг массы тела) перед сном, по-видимому, увеличивает как острый ночной синтез мышечного белка, так и хроническую адаптацию скелетных мышц» (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Рисунок 7: Стимуляция синтеза белка после тренировки с отягощениями



Muscle protein synthesis (%/h)	Синтез мышечного белка (% / ч)
Exercise	Упражнение
Protein intake	Потребление протеина
Fed	Корм
Fed + Exercise	Корм + упражнения

Источник: адаптировано из Phillips 2013, <https://bit.ly/2FRaekG>. Упражнения с отягощениями стимулируют длительное (~ 24-48 часов) увеличение синтеза мышечного белка. Это увеличивает «анаболический потенциал» употребления белка. Потребление протеина всегда увеличивает синтез протеина, но потребление его перед тренировкой приведет к большему увеличению. Таким образом, потребление белка во время или вскоре после тренировки дает определенные преимущества.

Одновременное потребление других питательных веществ

Смешанное питание не только обеспечивает субстрат, но и создает благоприятную гормональную среду для синтеза белка. Повышенная доступность глюкозы и аминокислот также приводит к увеличению концентрации инсулина в плазме, что, в свою очередь, может вызвать уменьшение распада белка и небольшое увеличение синтеза белка. (Биоло, Уильямс, Флеминг и Вулф, 1999 г., <https://bit.ly/2S8RdeG>).

Прием углеводов сам по себе может не влиять на синтез белка после тренировки. Но прием углеводов повышает концентрацию инсулина в плазме и тем самым может уменьшить расщепление белка, которое обычно происходит при тренировках с отягощениями. Инсулин подавляет распад белка, а также способствует усвоению аминокислот (и глюкозы) некоторыми тканями, включая скелетные мышцы. Комбинированный прием белка и углеводов, по-видимому, предпочтительнее после тренировки, по крайней мере, для ситуаций, когда количество потребляемого белка довольно мало (большинство исследований, сообщающих об этом эффекте, давали своим испытуемым только около 6-12 г белка или аминокислот после совместной тренировки с 30-100 г углеводов). Белок доставляет субстрат (аминокислоты), а углеводы дополнительно увеличивают анаболическую гормональную среду, необходимую для чистого синтеза белка.



В исследовании Miller et al. (Miller, Tipton, Chinkes, Wolf, & Wolfe, 2003) добровольцы выполняли упражнения с сопротивлением ног, а затем принимали один из трех напитков: (только аминокислоты (AA, ~ 6 г), только углеводы (CHO, ~ 35 г) или AA (~ 6 г) + CHO (~ 35 г) вместе) через 1 и 2 часа после тренировки. Общее чистое поглощение фенилаланина через ногу за 3 часа было наибольшим в ответ на AA + CHO и наименьшим - в ответ на CHO. Стимуляция чистого поглощения AA + CHO происходила из-за увеличения синтеза мышечного белка. В контрольном (только CHO) состоянии наблюдали чистый распад белка, подтверждая, что гиперинсулинемия сама по себе (т.е. в отсутствие проглоченных аминокислот) не стимулирует синтез белка. Эти результаты предполагают, что прием относительно небольшого количества аминокислот с большим количеством углеводов может увеличить чистый синтез мышечного белка в течение нескольких часов после тренировки с отягощениями. Аналогичные данные доступны для упражнений на выносливость. Хотя эти результаты интересны, более поздние исследования показывают, что доза аминокислот была неоптимальной для максимальной скорости синтеза белка после тренировки. Когда 20 г аминокислот или белка попадают в организм после тренировки, происходит большее увеличение синтеза белка по сравнению с 0 или 6 г, и добавление большого количества углеводов к 20 г белка не приводит к дальнейшему увеличению чистого синтеза белка (Koopman et al. , 2007).

Жир также, по-видимому, влияет на синтез белка, потому что цельное молоко, по-видимому, дает ответы, отличные от реакций обезжиренного молока (Elliot, Cree, Sanford, Wolfe, & Tipton, 2006). После тренировки с отягощениями испытуемые употребляли обезжиренное или цельное молоко. Оба молочных напитка стимулировали синтез белка, но наибольший эффект наблюдался при употреблении цельного молока. Объяснение этому не сразу понятно, но было высказано предположение, что жир в цельном молоке задерживает доставку аминокислот и обеспечивает более устойчивое поступление аминокислот для синтеза белка. Необходимы дополнительные исследования, чтобы изучить влияние добавленного жира на синтез белка. На самом деле необходимы дополнительные исследования, чтобы понять влияние обычных блюд, содержащих углеводы, клетчатку, жиры, белки и другие питательные вещества. Большинство исследований проводилось с использованием чистых форм белка, обычно в изолированном виде, а не в виде пищи. Следовательно, нам необходимо понять поведение белка при попадании в обычную пищу и вместе с ней (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Практические рекомендации по максимальному увеличению гипертрофии с помощью силовых тренировок и питания

- Участвуйте в регулярных тренировках и тренировках с высокими нагрузками.
- Поднятие более тяжелых грузов в течение длительного времени



способствует большему увеличению мышечной силы.

- Поднимите до точки отказа.
- Поддерживайте энергетический баланс.
- «Рассматривайте период после тренировки как время регидратации (для восстановления потерь жидкости и электролитов), дозаправки (для восстановления гликогена), восстановления (поврежденных мышечных волокон) и ремоделирования (адаптации к тренировочному стимулу), вместе известных как «4Rs»". (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Убедитесь, что поступает необходимое количество жидкости, электролитов, углеводов и белков для достижения целей, определенных в 4R.

- «Время приема белка - важная переменная, которую следует учитывать при оптимизации восстановления скелетных мышц и гипертрофии. Представляется оптимальным потреблять белок после тренировки в достаточных дозах (~ 0,4 г / кг мт – 1. Прием пищи – 1) »и до 3 других приемов пищи, распределенных в течение дня, с целью достижения общего потребления белка с пищей 1,4 -1,6 г · кг мт – 1. Меньше приемов пищи с большим количеством белка - не так хорошо, как употребление этого оптимального количества. Прием большей дозы белка (~ 0,6 г / кг м.т. – 1. Прием пищи – 1) «перед сном, по-видимому, увеличивает как острый ночной синтез мышечного белка, так и хроническую адаптацию скелетных мышц.
 - Посттренировочный обед должен содержать протеин преимущественно в форме быстро усваиваемых высококачественных протеинов с высоким содержанием лейцина. К таким белкам относятся сыворотка, обезжиренное молоко и яйца.
 - Другой белок, потребляемый в течение дня, должен быть в основном нежирным высококачественным белком, содержащим все незаменимые аминокислоты примерно в равных пропорциях. В основном это белок из животных источников, включая говядину, ветчину, баранину, птицу и рыбу, но его можно дополнить соей, бобами, сыром, орехами и хлебом. (Jeukendrup & Gleeson, 2018).
- Помните, что белок также можно получить из сои, бобов, орехов и хлеба.



Ссылки

Арета, Дж. Л., Берк, Л. М., Росс, М. Л., Камера, Д. М., Уэст, Д. В., Броуд, Э. М., . . . Коффи, В. Г. (2013). Время и распределение потребления белка во время длительного восстановления после упражнений с отягощениями изменяет синтез миофибриллярного белка. *J. Physiol*, 591 (9), 2319-2331. DOI: 10.1113 / jphysiol.2012.244897.

Атертон, П. Дж., Этеридж, Т., Ватт, П. В., Уилкинсон, Д., Селби, А., Рэнкин, Д.... Ренни, М. Дж. (2010). Полный эффект мышц после перорального приема протеина: зависящее от времени соответствие и несоответствие между синтезом мышечного протеина человека и передачей сигналов mTORC1. *Am J Clin Nutr*, 92 (5), 1080-1088. DOI: 10.3945 / ajcn.2010.29819.

Бейкер, Л. Б. и Джеукендроп, А. Э. (2014). Оптимальный состав жидкостных заменителей напитков. *Compr Physiol*, 4 (2), 575-620. DOI: 10.1002 / cphy.c130014.

Биоло, Г., Уильямс, Б. Д., Флеминг, Р. Ю., и Вулф, Р. Р. (1999). Действие инсулина на кинетику мышечного белка и транспорт аминокислот во время восстановления после упражнений с отягощениями. *Диабет*, 48 (5), 949-957.

Блом, П. С., Хёстмарк, А. Т., Вааге, О., Кардел, К. Р., и Маэлум, С. (1987). Влияние различных сахарных диет после тренировки на скорость ресинтеза гликогена в мышцах. *Med Sci Sports Exerc*, 19, 491-496.

Бохе, Дж., Лоу, А., Вулф, Р. Р., и Ренни, М. Дж. (2003). Синтез мышечного белка человека регулируется внеклеточной, а не внутримышечной доступностью аминокислот: исследование зависимости реакции от дозы. *J. Physiol*, 552 (Pt 1), 315-324.

Boirie, Y., Dangin, M., Gachon, P., Vasson, M.P., Maubois, J. L., & Beaufrere, B. (1997). Белки из медленной и быстрой диеты по-разному модулируют накопление белка после еды. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 94 (26), 14930-14935.

Броуд, Э. М., Берк, Л. М., Кокс, Г. Р., Хили, П., и Райли, М. (1996). Изменения массы тела и произвольное потребление жидкости во время тренировок и соревнований в командных видах спорта. *Int J Sport Nutr*, 6 (3), 307-320.

Берд, Н. А., Уэст, Д. В., Мур, Д. Р., Атертон, П. Дж., Стейплз, А. В., Прайор, Т. Филлипс, С. М. (2011). Повышенная аминокислотная чувствительность при синтезе миофибриллярного белка сохраняется до 24 часов после тренировки с отягощениями у молодых мужчин. *J Nutr*, 141 (4), 568-573. DOI: 10.3945 / jn.110.135038.

Берк, Л. М., Кольер, Г. Р., Дэвис, П. Г., Фрикер, П. А., Санигорски, А. Дж., И Харгривз, М. (1996). Запасы гликогена в мышцах после продолжительных упражнений: влияние частоты углеводных кормлений. *Am J Clin Nutr*, 64 (1), 115-119.



Берк, Л. М., Кольер, Г. Р., и Харгривз, М. (1993). Запасы гликогена в мышцах после продолжительных упражнений: влияние гликемического индекса углеводной пищи. *J. Appl Physiol*, 75 (2), 1019-1023.

Берк, Л. М., Хоули, Дж. А., Росс, М. Л., Мур, Д. Р., Филлипс, С. М., Слейтер, Г. Р.... Коффи, В. Г. (2012). Аминоацидемия перед тренировкой и синтез мышечного белка после упражнений с отягощениями. *Med Sci Sports Exerc*, 44 (10), 1968-1977. DOI: 10.1249 / MSS.0b013e31825d28fa.

Черчворд-Венн, Т. А., Брин, Л., Ди Донато, Д. М., Гектор, А. Дж., Митчелл, К. Дж., Мур, Д. Р.... Филлипс, С. М. (2014). Добавка лейцина к напитку с низким содержанием белка и смешанным макроэлементам усиливает синтез миофибриллярного белка у молодых мужчин: двойное слепое рандомизированное исследование. *Am J Clin Nutr*, 99 (2), 276-286. DOI: 10.3945 / ajcn.113.068775.

ДеФронцо, Р. А., Голдберг, М., и Агус, З. С. (1976). Влияние глюкозы и инсулина на почечный транспорт электролитов. *Дж. Клин Инвест*, 58 (1), 83-90. DOI: 10,1172 / JCI108463.

Дерав, В., Эйнде, Б. О., Вербессем, П., Рамакерс, М., Ван Лемпутте, М., Рихтер, Э. А., и Хеспель, П. (2003). Комбинированный прием креатина и протеина в сочетании с тренировками с отягощениями способствует увеличению содержания GLUT-4 в мышцах и толерантности к глюкозе у людей. *J. Appl Physiol* (1985), 94 (5), 1910-1916. DOI: 10.1152 / japplphysiol.00977.2002.

Десброу, Б., Чекчин, Д., Джонс, А., Грант, Г., Ирвин, К., и Леверит, М. (2015). Манипуляции с содержанием алкоголя и натрия в пиве для регидратации после тренировки. *Int J Sport Nutr Exerc Exerc Metab*, 25 (3), 262-270. DOI: 10.1123 / ijsnem.2014-0064.

Десброу, Б., Мюррей, Д., и Леверит, М. (2013). Пиво как спортивный напиток? Манипулирование ингредиентами пива для восполнения потерянной жидкости. *Int J Sport Nutr Exerc Exerc Metab*, 23 (6), 593-600.

Эллиот, Т. А., Кри, М. Г., Сэнфорд, А. П., Вулф, Р. Р., и Типтон, К. Д. (2006). Прием молока после упражнений с отягощениями стимулирует синтез чистого мышечного белка. *Med Sci Sports Exerc*, 38 (4), 667-674. DOI: 10.1249 / 01.mss.0000210190.64458.25.

Эванс, Г. Х., Ширрефс, С. М., и Моган, Р. Дж. (2009). Регидратация после тренировки у человека: влияние осмоляльности и содержания углеводов в потребляемых напитках. *Питание*, 25 (9), 905-913. DOI: 10.1016 / j.nut.2008.12.014.

Фагундес Нето, У., Франко, Л., Табаков, К., и Мачадо, Н. Л. (1993). Отрицательные результаты использования кокосовой воды в качестве раствора для пероральной регидратации при детской диарее. *J Am Coll Nutr*, 12 (2), 190-193.

Фуджита, С., Дрейер, Х.С., Драммонд, М. Дж., Глинн, Э. Л., Вольпи, Э., и Расмуссен, Б. Б. (2009). Прием незаменимых аминокислот и углеводов перед тренировкой с



отягощениями не улучшает синтез мышечного белка после тренировки. *J. Appl Physiol* (1985), 106 (5), 1730-1739. DOI: 10.1152 / japplphysiol.90395.2008.

Гонсалес-Алонсо, Дж., Хипс, К. Л. и Койл, Э. Ф. (1992). Регидратация после тренировки обычными напитками и водой. *Int. J. Sports Med.*, 13, 399-406.

Исмаил И., Сингх Р. и Сирисингхе Р. Г. (2007). Регидратация кокосовой водой, обогащенной натрием, после обезвоживания, вызванного физической нагрузкой. Юго-Восточная Азия *J Trop Med Public Health*, 38 (4), 769-785.

Айви, Дж. Л. (1991). Синтез мышечного гликогена до и после тренировки. *Спорт Мед*, 11 (1), 6-19.

Айви, Дж. Л., Ли, М. К., Брозиник, Дж. Т., и Рид, М. Дж. (1988). Накопление гликогена в мышцах после приема разного количества углеводов. *Дж. Аппл Физиол*, 65, 2018-2023.

Джеймс, Л. Дж., Клейтон, Д., и Эванс, Г. Х. (2011). Эффект от добавления молочного белка к раствору для регидратации электролитов и углеводов, принятому после тренировки в жару. *Br J Nutr*, 105 (3), 393-399. DOI: 10.1017 / S0007114510003545.

Jentjens, R. & Jeukendrup, A. (2003). Детерминанты синтеза гликогена после тренировки во время кратковременного восстановления. *Спорт Мед*, 33 (2), 117-144.

Jeukendrup, A. E. (2016a). Нужно ли нам переосмыслить рекомендации по белкам для спортсменов? Получено с <http://www.mysportscience.com/single-post/2016/11/16/Do-we-need-to-rethink-the-guidelines-for-protein-intake-for-athletes>.

Jeukendrup, A. E. (2016b). Увлажняющие свойства различных напитков. Получено с <http://www.mysportscience.com/single-post/2016/10/17/Hydrating-properties-of-various-drinks>.

Jeukendrup, A. E. (2018). Кокосовая вода так же «естественна», как предполагалось? Получено с <http://www.mysportscience.com/single-post/2018/08/19/Is-coconut-water-as-natural-as-suggested>.

Jeukendrup, A. E. и Gleeson, M. (2018). Спортивное питание: введение в производство энергии и производительность (3-е изд.). Иллинойс, США: кинетика человека.

Кальман, Д. С., Фельдман, С., Кригер, Д. Р., и Блумер, Р. Дж. (2012). Сравнение кокосовой воды и углеводно-электролитного спортивного напитка по показателям гидратации и физической работоспособности у тренированных мужчин. *J Int Soc Sports Nutr*, 9 (1), 1. DOI: 10.1186 / 1550-2783-9-1.

Кейзер, Х.А., Койперс, Х., ван Краненбург, Г., и Геуртен, П. (1987). Влияние жидкой и твердой пищи на ресинтез гликогена, реакцию гормонов плазмы и максимальную физическую работоспособность. *Int J Sports Med*, 8 (2), 99-104.

Кенефик, Р. В., Мареш, К. М., Армстронг, Л. Е., Рибе, Д., Эчегарай, М. Е., и Кастеллани, Дж. В. (2007). Регидратация жидкостью различной тоничности: влияние на гормоны,



регулирующие жидкость, и выполнение упражнений в жару. *J. Appl Physiol* (1985), 102 (5), 1899-1905. DOI: 10.1152 / japplphysiol.00920.2006.

Купман, Р., Белен, М., Стеллингверфф, Т., Пеннингс, Б., Сарис, В. Х., Кис, А. К... ван Лун, Л. Дж. (2007). Совместное употребление углеводов и белков не увеличивает синтез мышечного белка после тренировки. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 293 (3), E833-842. DOI: 10.1152 / ajpendo.00135.2007

Лайтано О., Рунко Дж. Л., Бейкер Л. (2014). НАУКА О ГИДРАЦИИ И СТРАТЕГИИ В ФУТБОЛЕ. Обмен спортивной науки Vol. 27, № 128, 1-7. Получено с https://secure.footprint.net/gatorade/stg/gssiweb/pdf/SSE128_Laitano.pdf.

Макнотон, Л.С., Уордл, С.Л., Витард, О.С., Макглори, К., Гамильтон, Д.Л., Джеромсон, С... Типтон, К. Д. (2016). Реакция синтеза мышечного белка после упражнений с отягощениями всего тела выше после приема 40 г сывороточного протеина, чем 20 г. *Physiol Rep*, 4 (15). DOI: 10.14814 / phy2.12893.

Моган, Р. Дж. И Лейпер, Дж. Б. (1995). Потребление натрия и регидратация человека после тренировки. *Евро. J. App. Physiol.*, 71, 311-319.

Моган, Р. Дж., Оуэн, Дж. Х., Ширрефс, С. М., и Лейпер, Дж. Б. (1994). Регидратация после тренировки у человека: эффекты добавления электролитов к потребляемой жидкости. *Eur J Appl Physiol*, 69, 209-215.

Моэн, Р. Дж., Уотсон, П., Кордери, П. А., Уолш, Н. П., Оливер, С. Дж., Дольчи, А... Галлоуэй, С. Д. (2016). Рандомизированное испытание для оценки способности различных напитков влиять на состояние гидратации: разработка индекса гидратации напитка. *Am J Clin Nutr*, 103 (3), 717-723. DOI: 10.3945 / ajcn.115.114769.

МакГлори, К., Деврис, М. К., и Филлипс, С. М. (2017). Скелетные мышцы и упражнения с отягощениями; роль синтеза белка в восстановлении и ремоделировании. *J. Appl Physiol* (1985), 122 (3), 541-548. DOI: 10.1152 / japplphysiol.00613.2016.

Миллер, С. Л., Типтон, К. Д., Чинкес, Д. Л., Вольф, С. Е., и Вулф, Р. Р. (2003). Независимые и комбинированные эффекты аминокислот и глюкозы после упражнений с отягощениями. *Med Sci Sports Exerc*, 35 (3), 449-455.

Мур, Д. Р., Черчвард-Венн, Т. А., Витард, О., Брин, Л., Берд, Н. А., Типтон, К. Д., и Филипс, С. М. (2015). Потребление белка для стимуляции синтеза миофибриллярного белка требует большего относительного потребления белка у здоровых пожилых мужчин по сравнению с молодыми мужчинами. *Журнал Геронтол Биол Наука Мед Наука*, 70 (1), 57-62. DOI: 10,1093 / gerona / glu103.

Мур, Д. Р., Робинсон, М. Дж., Фрай, Дж. Л., Танг, Дж. Э., Гловер, Э. И., Уилкинсон, С. Б. ... Филлипс, С. М. (2009). Ответная реакция на дозу принятого белка в мышцах и синтез белка альбумина после упражнений с отягощениями у молодых мужчин. *Am J Clin Nutr*, 89 (1), 161-168. DOI: 10.3945 / ajcn.2008.26401.



Мортон, Р. В., МакГлори, С., и Филлипс, С. М. (2015). Вмешательства по питанию для увеличения гипертрофии скелетных мышц, вызванной тренировками с отягощениями. *Front Physiol*, 6. DOI: 10.3389 / fphys.2015.00245.

Нельсон, А.Г., Арналл, Д.А., Кокконен, Дж., Дэй, Р., и Эванс, Дж. (2001). Суперкомпенсация гликогена в мышцах усиливается за счет предшествующего приема креатина. *Med Sci Sports Exerc*, 33 (7), 1096-1100.

Нуччио, Р. П., Барнс, К. А., Картер, Дж. М., и Бейкер, Л. Б. (2017). Баланс жидкости у спортсменов командных видов спорта и влияние гипогидратации на когнитивные, технические и физические характеристики. *Sports Med*, 47 (10), 1951–1982. DOI: 10.1007 / s40279-017-0738-7.

Остерберг, К. Л., Палларди, С. Э., Джонсон, Р. Дж., И Хорсвилл, К. А. (2010). Углеводы слабо влияют на задержку жидкости после обезвоживания, вызванного физической нагрузкой. *J Appl Physiol* (1985), 108 (2), 245-250. DOI: 10.1152 / japplphysiol.91275.2008.

Педерсен, Д. Дж., Лессард, С. Дж., Коффи, В. Г., Черчли, Э. Г., Вуттон, А. М., Нг, Т.... Хоули, Дж. А. (2008). Высокий уровень ресинтеза гликогена в мышцах после изнурительных упражнений, когда углеводы сочетаются с кофеином. *J Appl Physiol* (1985), 105 (1), 7-13. DOI: 10.1152 / japplphysiol.01121.2007.

Филлипс, С. М., Типтон, К. Д., Аарсленд, А., Вольф, С. Е., и Вулф, Р. Р. (1997). Синтез и распад смешанного мышечного белка после упражнений с отягощениями у людей. *Am J Physiol*, 273 (1, часть 1), E99-107.

Филлипс С.М., (2013 г.), «Потребление белка и упражнения с отягощениями: максимальное увеличение анаболического потенциала», *Sports Science Exchange* 26 (107): 1-5. <https://bit.ly/2FRaekG>.

Робинсон, Т. М., Сьюэлл, Д. А., Халтман, Э., и Гринхафф, П. Л. (1999). Роль субмаксимальных упражнений в стимулировании накопления креатина и гликогена в скелетных мышцах человека. *J Appl Physiol* (1985), 87 (2), 598-604. DOI: 10.1152 / jappl.1999.87.2.598.

Шаафсма, Г. (2000). Оценка аминокислот с поправкой на усвояемость белка. *J Nutr*, 130 (7), 1865-1867 гг. DOI: 10.1093 / JN / 130.7.1865S.

Шенфельд Б. Дж., Арагон А. А. и Кригер Дж. У. (2013). Влияние синхронизации белка на мышечную силу и гипертрофию: метаанализ. *J Int Soc Sports Nutr*, 10 (1), 53. DOI: 10.1186 / 1550-2783-10-53.

Ширреффс, С. М., Арагон-Варгас, Л. Ф., Кейл, М., Лав, Т. Д., и Филлипс, С. (2007). Регидратация после тренировки в жару: сравнение 4 часто употребляемых напитков. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 17 (3), 244-258.

Ширреффс С. М., Савка М. Н. (2011). Потребность в жидкости и электролите для тренировок, соревнований и восстановления. *J Sports Sci*, 29 Дополнение 1, S39-46. DOI: 10.1080 / 02640414.2011.614269.



Ширреффс С. М., Тейлор А. Дж., Лейпер Дж. Б. и Моган Р. Дж. (1996). Регидратация после тренировки у человека: влияние потребляемого объема и содержания натрия в напитке. *Med Sci Sports Exerc*, 28 (10), 1260-1271.

Ширреффс, С. М., Уотсон, П., и Моган, Р. Дж. (2007). Молоко как эффективный напиток для регидратации после тренировки. *Br J Nutr*, 98 (1), 173-180. DOI: 10.1017 / S0007114507695543.

Снейдерс, Т., Рес, П. Т., Смитс, Дж. С., ван Влит, С., ван Краненбург, Дж., Маасе, К.... ван Лун, Л. Дж. (2015). Употребление белка перед сном увеличивает мышечную массу и прирост силы во время длительных тренировок с отягощениями у здоровых молодых мужчин. *J. Nutr*, 145 (6), 1178-1184. DOI: 10.3945 / jn.114.208371.

Саймонс, Т. Б., Шеффилд-Мур, М., Вулф, Р. Р., и Паддон-Джонс, Д. (2009). Умеренная порция высококачественного протеина максимально стимулирует синтез протеина в скелетных мышцах у молодых и пожилых людей. *J Am Diet Assoc*, 109 (9), 1582-1586. DOI: 10.1016 / j.jada.2009.06.369.

Тан Дж. Э., Мур Д. Р., Куйбида Г. В., Тарнопольский М. А. и Филлипс С. М. (2009). Прием гидролизата сыворотки, казеина или изолята соевого белка: влияние на синтез смешанного мышечного белка в состоянии покоя и после упражнений с отягощениями у молодых мужчин. *J. Appl Physiol* (1985), 107 (3), 987-992. DOI: 10.1152 / japplphysiol.00076.2009.

Типтон, К. Д., Эллиотт, Т. А., Кри, М. Г., Аарсленд, А. А., Сэнфорд, А. П., и Вулф, Р. Р. (2007). Стимуляция синтеза чистого мышечного протеина путем приема сывороточного протеина до и после тренировки. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 292 (1), E71-76. DOI: 10.1152 / ajpendo.00166.2006.

Типтон, К. Д., Феррандо, А. А., Филлипс, С. М., Дойл, Д., мл., И Вулф, Р. Р. (1999). Синтез чистого белка в мышцах человека из перорально вводимых аминокислот после тренировки. *Am J Physiol*, 276 (4 Pt 1), E628-634.

Типтон, К. Д., Расмуссен, Б. Б., Миллер, С. Л., Вольф, С. Е., Оуэнс-Стовалл, С. К., Петрини, Б. Э., и Вулф, Р. Р. (2001). Время приема углеводов и аминокислот изменяет анаболический ответ мышц на упражнения с отягощениями. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 281 (2), E197-206.

Типтон, К. Д., и Витард, О. С. (2007). Требования к белку и рекомендации для спортсменов: актуальность аргументов башни из слоновой кости для практических рекомендаций. *Clin Sports Med*, 26 (1), 17-36. DOI: 10.1016 / j.csm.2006.11.003.

ван Лун, Л. Дж., Крюйшуп, М., Верхаген, Х., Сарис, В. Х., и Вагенмакерс, А. Дж. (2000). Прием протеинового гидролизата и смесей аминокислот с углеводами увеличивает реакцию инсулина в плазме после тренировки у мужчин. *J Nutr*, 130 (10), 2508-2513.

Уотсон, П., Лав, Т. Д., Моэн, Р. Дж., И Ширреффс, С. М. (2008). Сравнение влияния молока и углеводно-электролитного напитка на восстановление водного баланса и



работоспособность в жаркой и влажной среде. *Eur J Appl Physiol*, 104 (4), 633-642. DOI: 10.1007 / s00421-008-0809-4.

Витард, О. К., Джекман, С. Р., Брин, Л., Смит, К., Селби, А., и Типтон, К. Д. (2014). Скорость синтеза миофибрилярного мышечного протеина после еды в ответ на увеличение доз сывороточного протеина в состоянии покоя и после упражнений с отягощениями. *Am J Clin Nutr*, 99 (1), 86-95. DOI: 10.3945 / ajcn.112.055517.

Йео, С. Е., Джентдженс, Р. Л., Уоллис, Г. А., и Джекендроп, А. Е. (2005). Кофеин увеличивает экзогенное окисление углеводов во время упражнений. *Журнал прикладной физиологии*. 99 (3): 844-50.

Завадски, К. М., Яспелкис III, Б. Б., и Айви, Дж. Л. (1992). Углеводно-белковый комплекс увеличивает скорость накопления гликогена в мышцах после тренировки. *J. Appl Physiol*, 72 (5), 1854–1859.

