

Модуль 1: Подготовка кишечника

1.1 Кишечник можно тренировать

1.1.1 Исследования и реальный мир

Хотя рекомендации относительно ясны, футболисты не могут или по какой-либо иной причине не выполняют их. Таким образом, похоже, существует несоответствие между результатами контролируемых лабораторных и полевых исследований мужчин среднего уровня подготовленности и реальной ситуацией в день матча. Это не означает, что результаты исследований недостоверны, это просто означает, что нам нужно найти более эффективные способы их применения в реальных жизненных ситуациях.

Спортсмены часто недооценивают важность желудочно-кишечного тракта. Поступление экзогенной жидкости и углеводов может иметь решающее значение для поддержания высокого уровня работоспособности, особенно во время длительных тренировок и соревнований (Jeukendrup, 2011).

В футболе было показано, что потребление углеводов во время матчей должно составлять около 75 г, а потребление жидкости должно быть достаточным, чтобы минимизировать потери жидкости до 2% массы тела. На самом деле футболисты не достигают данных показателей (Anderson и соавт., 2017). Потребление углеводов во время матча составляло около 30 г/час у большинства игроков ФК «Ливерпуль», а четыре игрока потребляли менее 30 г/ч). Наиболее частой причиной недостаточного потребления углеводов являются желудочно-кишечные симптомы, такие как вздутие живота, а иногда спазмы и рвота. В спорте это действительно частые симптомы (de Oliveira, Burini, & Jeukendrup, 2014). Во время высокоинтенсивной интервальной физической нагрузки опорожнение желудка может быть затруднено (Leiper, Prentice, Wrightson, & Maughan, 2001), а кровоток может быть отведен от желудочно-кишечного тракта, что, в свою очередь, может нарушить функцию желудочно-кишечного тракта. В результате может развиться ряд желудочно-кишечных симптомов, а доставка питательных веществ будет нарушена. В исследованиях часто изолированно рассматриваются отдельные аспекты спортивного питания. Например, в течение многих лет оптимальный состав спортивного напитка изучали по маркерам гидратации. Было установлено, что для оптимизации доставки жидкости к активно работающим органам и тканям организма спортсмена требуется напиток с низким уровнем углеводов и некоторым количеством натрия. На основе этих результатов были разработаны спортивные напитки, которые были изотоническими, 6-7% -ными углеводными растворами и содержали около 20



ммоль/л натрия (исследования показали, что большее количество натрия было бы лучше, но это слишком сильно снизило вкусовые качества). В других исследованиях изучалась доставка углеводов до активно работающих органов и тканей, и критерием оценки здесь было экзогенное окисление углеводов. Эти исследования в целом показали, что более высокие нормы потребления углеводов приводили к большей скорости окисления экзогенных углеводов, но поскольку количество жидкости, которое было бы комфортным для употребления спортсменами, было относительно небольшим, то концентрация углеводов в растворах была намного выше, чем в напитках для регидратации (10-18%, в среднем). Конечно, в реальных условиях необходимо учитывать потребности как в жидкости, так и в углеводах, а не только результаты исследований гидратации или только результаты исследований окисления углеводов. Необходимо решить, что важнее для спортсмена специализирующегося в том или ином виде спорта: доставка жидкости или доставка углеводов. Что касается футбола, на этот вопрос, вероятно, легко ответить: есть исследования, которые показывают, что игроки теряют относительно небольшое количество жидкости во время матчей (<2-3% в умеренных и теплых погодных условиях), но потребности в углеводах относительно высоки (исследования показывают, что необходимо съесть не менее 60 г, чтобы увидеть преимущества в высоком уровне работоспособности. Таким образом, обеспечение углеводов может быть более важным, чем обеспечение жидкости. Когда погодные условия становятся более теплыми и потери жидкости увеличиваются, потребность в углеводах останется той же (или немного увеличится) и потребление углеводов с рекомендованной скоростью уже является сложной задачей для игроков (о чем свидетельствует более низкое потребление углеводов, которое обычно наблюдается в реальности), а добавление жидкости только усложнит выполнение упражнений.

Тем не менее, очевидно, что кишечник хорошо адаптируется, и было высказано предположение, что целенаправленная тренировка желудочно-кишечного тракта может улучшить доставку питательных веществ во время упражнений и в то же время облегчить некоторые (или все) симптомы (Jeukendrup, 2011b). Этой тренировке, которую иногда называют «тренировкой кишечника», в научной литературе уделялось относительно мало внимания, но она была недавно рассмотрена (Jeukendrup, 2011b) и теперь становится частью повседневной тренировочной программы многих спортсменов. Данная информация может быть важным аспектом для осуществления доставки углеводов и жидкости, особенно до и во время матча, чтобы игроки могли следовать соответствующим рекомендациям без каких-либо негативных последствий потребления углеводов и жидкости для них.

1.1.2 Желудочно-кишечные проблемы

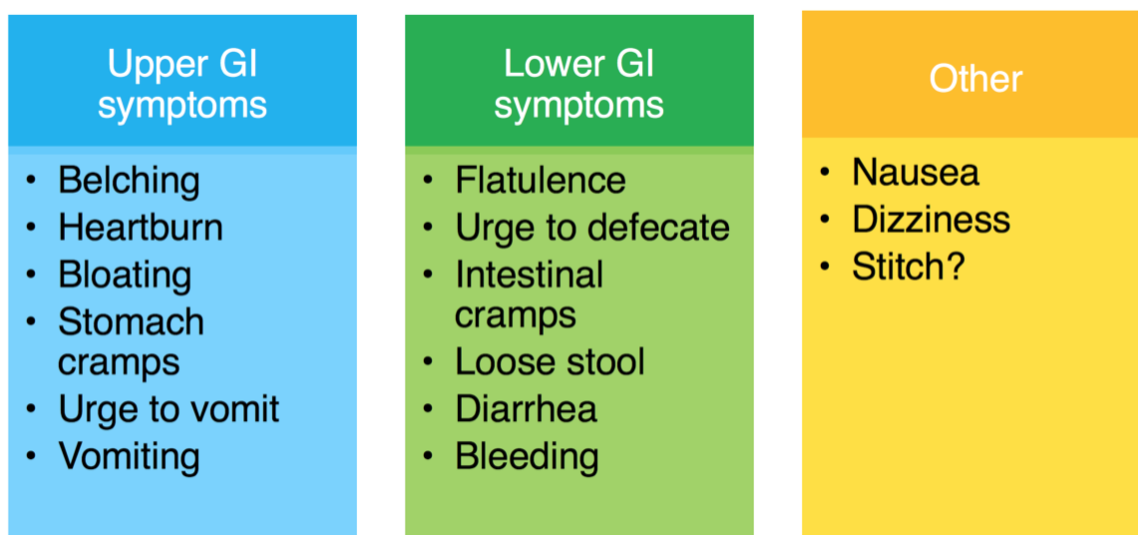
Проблемы с желудочно-кишечным трактом очень распространены среди спортсменов, и 30-50% всех спортсменов испытывают такие проблемы регулярно (de Oliveira и соавт., 2014). Футболисты меньше страдают от этих проблем, чем,



например, бегуны или триатлонисты, но это по-прежнему распространенная проблема.

Наиболее частые жалобы футболистов включают в себя рвоту (отрыжку), боль в животе, гастроэзофагеальный рефлюкс (или изжогу) и вздутие живота (симптомы верхних отделов желудочно-кишечного тракта) (рис. 1). Несколько реже встречаются спазмы в животе, повышенное газообразование, жидкий стул, диарея или даже кровавая диарея и рвота (симптомы нижних отделов желудочно-кишечного тракта). Существует третья категория симптомов, которые не могут быть классифицированы как проблемы со стороны верхних или нижних отделов желудочно-кишечного тракта, но могут быть связаны с желудочно-кишечным трактом (например, колющая боль, тошнота, головокружение (Jeukendrup, 2016, <https://bit.ly/2gfipb2>).

Рисунок 1: Желудочно-кишечные симптомы можно разделить на три



Источник: Jeukendrup, 2016, <https://bit.ly/2gfipb2>

Upper GI symptoms	Симптомы со стороны верхних отделов желудочно-кишечного тракта
Belching	Отрыжка
Heartburn	Изжога

Bloating	Вздутие живота
Stomach cramps	Спазмы желудка
Urge to vomit	Позыв к рвоте
Vomiting	Рвота
Lower GI symptoms	Симптомы нижних отделов ЖКТ
Flatulence	Метеоризм
Urge to defecate	Позывы к дефекации
Intestinal cramps	Кишечные спазмы
Loose stool	Жидкий стул
Diarrhea	Понос (диарея)



Bleeding	Кровотечение
Other	Другие симптомы
Nausea	Тошнота
Dizziness	Головокружение
Stitch?	Колющая боль?

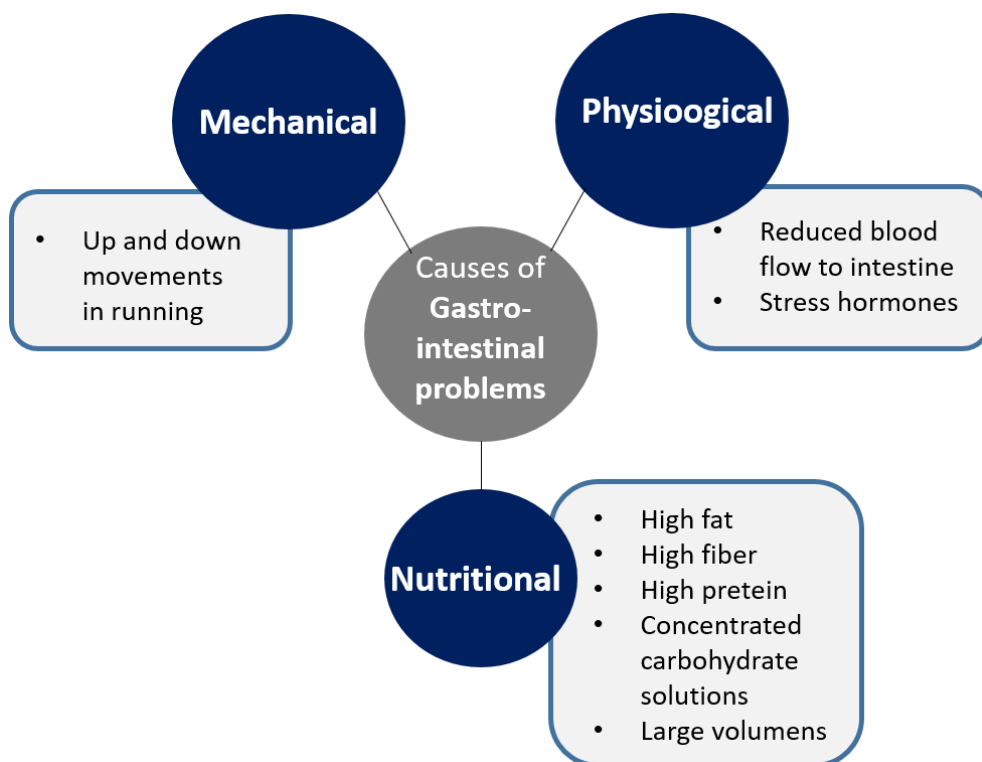
Причины до сих пор в значительной степени неизвестны, но, по-видимому, частично генетически детерминированы и очень индивидуальны (de Oliveira и соавт., 2014). Механизмы, вероятно, будут разными для проблем с верхним и нижним отделами желудочно-кишечного тракта. Симптомы чаще возникают и усугубляются жаркими погодными условиями и обезвоживанием организма (de Oliveira и соавт., 2014). Хотя связь с приемом пищи не всегда существует, было обнаружено, что определенные случаи из практики коррелируют с частотой возникновения желудочно-кишечных проблем: потребление клетчатки, потребление жиров и высококонцентрированных углеводных растворов, что, по-видимому, увеличивает распространенность проблем с желудочно-кишечным трактом (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

В настоящее время причины желудочно-кишечных симптомов до конца не изучены. Симптомы трудно исследовать, потому что они субъективны и иногда непредсказуемы, к тому же их очень сложно воспроизвести или смоделировать в лаборатории. Тем не менее были проведены некоторые лабораторные и полевые исследования, которые показали, что симптомы коррелируют с потреблением пищи и другими факторами. На основе этих исследований был определен ряд потенциальных причин и факторов, которые можно разделить на 3 общие категории (Рисунок 2):

- (1) физиологические
- (2) механические
- (3) питательные



Рисунок 2: Причины желудочно-кишечных проблем



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

Causes of gastro-intestinal problems	Причины желудочно-кишечных проблем
--------------------------------------	------------------------------------



Mechanical	Механические
Up and down movements in running	Движения вверх и вниз при беге
Physiological	Физиологические
Reduce blood flow to intestine	Снижение кровотока в кишечнике
Stress hormones	Гормоны стресса
Nutritional	Питательные
High fat	Высокое содержание жира
High fiber	Высокое содержание клетчатки
High protein	Высокое содержание белка
Concentrated carbohydrate solutions	Концентрированные углеводные растворы
Large volumes	Большие объемы



Физиологические причины

Физиологические причины желудочно-кишечных симптомов включают снижение кровотока в кишечнике и повышение уровня гормонов стресса (особенно перед матчем). При физических нагрузках кровоток преимущественно перенаправляется к работающим мышцам, а кровоток направленный к кишечнику может быть уменьшен на 80%. Такое низкое кровоснабжение может в разной степени нарушить работу кишечника и привести к часто возникающим желудочно-кишечным симптомам, таким как спазмы. В тяжелых случаях это может даже привести к повреждению толстой кишки в результате недостаточного кровоснабжения (ишемический колит). Хотя с тренировкой кишечника это снижение кровотока становится менее выраженным, нет четких доказательств того, что менее подготовленные люди более склонны к развитию симптомов в результате снижения кровотока в кишечнике. Беспокойство и волнение влияют на секрецию гормонов стресса, что, в свою очередь, может сказываться на функционировании кишечника, и приводить к не полному всасыванию и жидкому стулу.

Механические причины

Механические причины проблем с желудочно-кишечным трактом связаны либо с ударной нагрузкой, либо с нарушением осанки, возникающими во время выполнения двигательных действий. Считается, что это результат многократно повторяющейся ударной нагрузки, возникающей в опорной фазе бега при постановке стопы на опору после полетной фазы, и последующего повреждения стенок кишечника.

Причины питания

Наконец, количество и качество питания может иметь сильное влияние на желудочно-кишечные расстройства. Клетчатка, жир, белок и фруктоза связаны с повышенным риском развития желудочно-кишечных симптомов. Обезвоживание, возможно, в результате недостаточного потребления жидкости, также может усугубить симптомы. Гипертонические напитки с высокой плотностью (осмолярность > 500 мОсм / л) особенно часто вызывают жалобы. Хотя были выявлены некоторые факторы риска, до сих пор неясно, почему некоторые люди более склонны к развитию желудочно-кишечных проблем, чем другие.

Чтобы свести к минимуму желудочно-кишечные расстройства, необходимо учитывать все эти факторы риска и соблюдать ряд рекомендаций:

Избегайте продуктов с высоким содержанием клетчатки

Избегайте продуктов с высоким содержанием клетчатки в день матча, возможно, также за день до матча. Для спортсмена, который



тренируется, диета с достаточным количеством клетчатки поможет поддерживать нормальное функционирование кишечника. Однако, поскольку клетчатка не переваривается, любая съеденная клетчатка по существу проходит через кишечник. Усиление дефекации во время упражнений нежелательно и может также ускорить потерю жидкости. Дополнительная клетчатка также может привести к ненужному выделению газов, что, в свою очередь, может вызвать спазмы и желудочно-кишечный дискомфорт. Особенно для тех людей, которые склонны к развитию желудочно-кишечных симптомов, рекомендуется низкое потребление клетчатки в дни матчей или, в крайних случаях, за день или даже за два дня до матча. По сути, это означает, что вместо цельнозернового хлеба, хлопьев с высоким содержанием клетчатки, овса и коричневого риса выбирайте обработанные белые продукты, такие как обычные макароны, белый рис и простые рогалики. Следите за содержанием клетчатки на этикетках продуктов питания. Большинство фруктов и овощей содержат большое количество клетчатки, но есть несколько исключений: кабачки, помидоры, оливки, виноград и грейпфрут содержат менее одного грамма клетчатки на порцию.

Избегайте аспирина и нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП).

Избегайте аспирина и нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП), таких, как ибупрофен. Как аспирин, так и НПВП повышают проницаемость кишечника и могут увеличивать частоту жалоб со стороны ЖКТ. Не рекомендуется использовать НПВП в предсоревновательный период.

Избегайте молочных продуктов

У некоторых игроков может быть легкая непереносимость лактозы, которая не влияет на них в течение нормальной жизни, но тревога, возникающая в день матча в сочетании с упражнениями, может сделать легкую непереносимость симптоматической. Избегайте молочных продуктов, содержащих лактозу, полностью исключая молоко или заменив его молоком без лактозы. Соевое, рисовое и миндальное молоко обычно не содержат лактозы (хотя многие из таких напитков также не содержат белка).

Избегайте продуктов, содержащих только фруктозу

Избегайте продуктов с высоким содержанием фруктозы (особенно напитков, фруктозу). Фруктоза содержится не только во фруктах, но и в большинстве обработанных сладостей: конфеты, печенье и т. д. в виде кукурузного сиропа с высоким содержанием фруктозы. Некоторые фруктовые соки почти полностью состоят из фруктозы. Фруктоза всасывается в кишечнике медленнее, толерантность к фруктозе намного меньше, чем к глюкозе (может привести к спазмам, жидкому стулу и диарее).



Избегайте обезвоживания

Поскольку обезвоживание может усугубить симптомы со стороны желудочно-кишечного тракта, важно избегать обезвоживания. Перед началом матча необходимо хорошо гидратировать организм.

Тренируйте свой кишечник

Тренировка кишечника - еще одна практика, которая может помочь предотвратить желудочно-кишечные проблемы. Если кишечник игрока адаптирован к пище, потребляемой во время матча, у него меньше шансов получить проблемы с желудочно-кишечным трактом (Jeukendrup, 2016, <https://bit.ly/2gfipb2>).

«Считается, что тренировка кишечника может облегчить некоторые из этих симптомов, возможно, за счет улучшения опорожнения желудка, ощущения наполненности (уменьшение вздутия живота), улучшения переносимости больших объемов и более быстрого всасывания жидкости и питательных веществ, вызывая меньший остаточный объем и меньшие осмотические сдвиги (de Oliveira и соавт., 2014)» (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

1.1.3 Опорожнение желудка

Опорожнение желудка - важный шаг на пути к доставке экзогенных углеводов и жидкости к работающим мышцам. Иногда спортсмены жалуются на скопление напитков в желудке и ощущение вздутия живота, особенно во время высокоинтенсивных нагрузок (Neufer, Young, & Sawka, 1989) или очень продолжительных тренировок в жарких условиях. Обезвоживание может способствовать этому явлению и усугублять жалобы (Neufer и соавт., 1989; Rehrer, Beckers, Brouns, ten Hoor & Saris, 1990) (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

Футболисты часто жалуются на вздутие живота, особенно если они только что употребили обычную пищу или специальное спортивное питание перед матчем или тяжелой тренировкой.

После приема пищи обычно требуется от 1 до 4 часов, чтобы пища покинула желудок. Скорость зависит от содержания и объема съеденной пищи. Периодичность и сам процесс сокращения желудка в некоторой степени происходят автоматически. Сокращение желудка увеличивает внутрижелудочное давление, чтобы протолкнуть пищу (теперь называемую химусом) через пилорический сфинктер. Такие сокращения инициируются кардиостимуляторами в стенке желудка. Опорожнение желудка



также контролируется различными сигналами (нервными и гормональными) непосредственно из желудка или двенадцатиперстной кишки. Повышенное количество пищи расслабляет пилорический сфинктер и увеличивает опорожнение желудка. Сигналы из первой части кишечника (двенадцатиперстной кишки) дают отрицательную обратную связь и препятствуют опорожнению желудка. В двенадцатиперстной кишке есть рецепторы, которые могут определять кислотность, растяжение двенадцатиперстной кишки, осмолярность и, возможно, наличие и количество в химусе углеводов, белков и жиров и. Когда эти рецепторы стимулируются, запускается энтерогастральный рефлекс, который увеличивает сокращение привратника. Этот механизм предотвращает попадание чрезмерного количества химуса в тонкий кишечник. Слишком быстрая доставка химуса в кишечник может означать недостаточное время для переваривания и всасывания, а некоторые питательные вещества будут теряться с фекалиями. Скорость опорожнения желудка у разных людей значительно различается. Некоторые люди могут выводить от 70% до 80% химуса за 15 минут, в то время как другие выводят только 20–30% того же химуса за 15 минут. Причины этих индивидуальных различий неизвестны, но диета считается важным фактором. Желудочно-кишечный тракт, возможно, адаптируется к потреблению определенных питательных веществ, и высокое обычное потребление жиров может привести к высокой скорости опорожнения желудка. Независимо от механизмов, они подчеркивают важность индивидуальных рекомендаций по потреблению жидкости и питательных веществ.

Факторы, которые, как предполагается, влияют на опорожнение желудка, включают:

- запах и вид еды,
- мысли о еде,
- объем напитка и поступающей пищи,
- энергетическая ценность напитка и поступающей пищи,
- температура напитка и поступающей пищи,
- осмолярность напитка,
- температура тела и обезвоживание,
- вид упражнения,



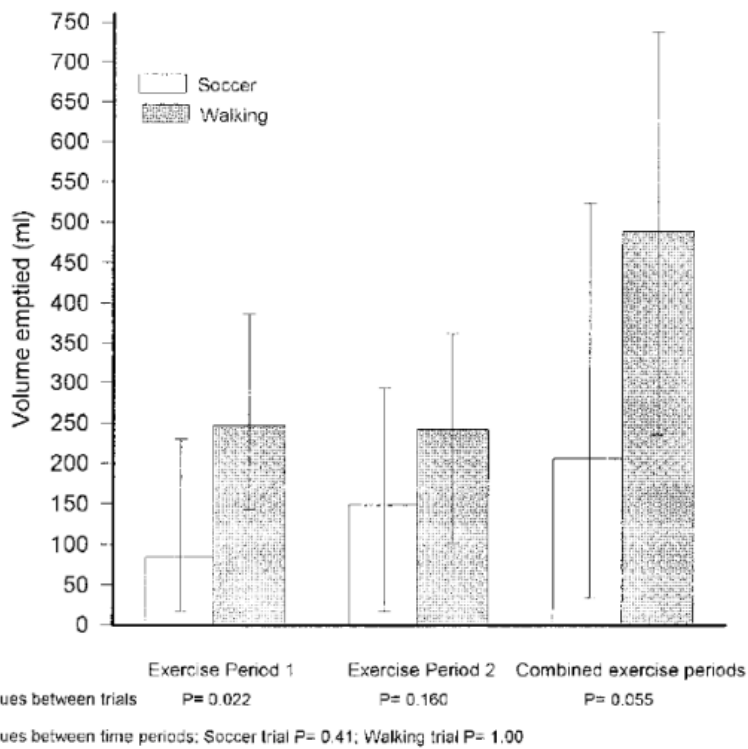
- интенсивность упражнений,
- пол,
- психологический стресс и тревога (Jeukendrup & Gleeson 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>)

Во время упражнений скорость опорожнения желудка может замедляться, хотя это может происходить только во время упражнений с очень высокой интенсивностью. Нагрузка, выполняемая на уровне интенсивности ниже 80% от МПК (максимальное потребление кислорода) не влияет на скорость опорожнения желудка. При интенсивности выше 80% от МПК может происходить снижение доставки жидкости и питательных веществ в тонкий кишечник (Costill & Saltin, 1974; Sole & Noakes, 1989). Однако с практической точки зрения это снижение может не иметь значения, потому что нагрузка в упражнениях, выполняемая с интенсивностью на уровне более 80% от МПК, как правило, длится недолго (до 1 минуты), и поэтому поступление углеводов и жидкости во время упражнений не имеет значения. При такой интенсивности употребление пищи и жидкости в любом случае будет затруднительно из-за гипервентиляции, вызванной физическими упражнениями.

Опорожнение желудка от жидкости замедляется во время коротких интервальных упражнений высокой интенсивности по сравнению с равномерными упражнениями умеренной интенсивности в состоянии покоя или в устойчивом состоянии (Leiper, Broad, & Maughan, 2001). Опорожнение желудка, измеренное после мини-футбольного матча в помещении, уменьшилось, хотя средняя интенсивность активности составляла от 54% до 63% МПК (Leiper, Prentice и соавт., 2001) (рис. 3). Относительно коротких интервалов времени выполнения упражнений очень высокой интенсивности было явно достаточно, чтобы уменьшить опорожнение желудка (Jeukendrup & Gleeson 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>).

Рисунок 3: Опорожнение желудка во время футбола (футбольный матч) и ходьбы. Наблюдается явное уменьшение объема, опорожняемого содержимого во время футбола.





Источник: Лейпер, Прентис и др., 2001 год. <https://bit.ly/2A1T17K>

Soccer	Футбол
Walking	Ходьба
Volume emptied (ml)	Опорожняемый объем (мл)
Probability values between trails	Значения вероятности между попытками

<p>Probability values between time periods: Soccer trial P=0.41; Walking trail P=1.00</p>	<p>Значения вероятности между периодами времени: Футбольный матч P = 0,41; Пешеходная тропа P = 1.00</p>
<p>Exercise period 1 P= 0.022</p>	<p>Период упражнения 1 P = 0,022</p>
<p>Exercise period 2 P= 0.160</p>	<p>Период упражнения 2 P = 0,160</p>
<p>Combined exercise periods P= 0.055</p>	<p>Комбинированные периоды упражнений P = 0,055</p>



Об изотонических напитках много говорят, и осмоляльность всегда считалась важным фактором, контролирующим скорость опорожнения желудка. Высокая осмоляльность напитка увеличивает секрецию желудочного сока, а также секрецию в кишечнике, что препятствует доставке жидкости. Поэтому осмолярность является важным фактором, который следует учитывать при выборе напитка для приема во время тренировки. Более высокая осмолярность может уменьшить опорожнение желудка и снизить поглощение и всасывание воды.

Но осмолярность и концентрация простых углеводов взаимосвязаны, и иногда бывает трудно отделить эффекты осмоляльности от эффектов содержания углеводов. Высокое содержание энергии или углеводов обычно связано с высокой осмолярностью, поэтому эффекты концентрации углеводов и осмолярности трудно различить. Исследования, однако, показывают, что, хотя осмолярность снижает скорость опорожнения желудка, этот фактор не важен для напитков с осмолярностью в диапазоне от 200 до 400 мОсм / л (Brouns, Senden, Beckers, & Saris, 1995), включая большинство обычных спортивных напитков. Осмолярность, возможно, становится более важной для напитков с чрезвычайно высокой осмолярностью (> 500 мОсм / л).

Есть ряд факторов, которые действительно могут замедлить опорожнение желудка. Калорийность - одна из них. Чем выше калорийность, тем медленнее опорожнение желудка. Неясно, является ли этот эффект эффектом общей калорийности как таковой или калорийности конкретных питательных веществ. Некоторые питательные вещества оказывают сильное тормозящее действие на опорожнение желудка. Например, жир является сильным ингибитором опорожнения желудка. Однако увеличение содержания углеводов или белков в напитке также замедляет опорожнение желудка. Растворы углеводов и электролитов с 2% содержанием углеводов уже показывают тенденцию к замедлению опорожнения, по сравнению с водой (Vist & Maughan, 1994), но растворы с 8%-ным содержанием или более значительно замедляют опорожнение желудка. Энергетическое содержание (калорийность) раствора является более важным фактором, чем осмолярность (Vist & Maughan, 1995). Влияние температуры еды или напитка, вероятно, не имеет значения с физиологической точки зрения. Lambert, Ball, Leiper и Maughan (1999) показали, что после приема напитка, содержащего $2\text{H}_2\text{O}$, накопление дейтерия (2H - тяжелого водорода) в плазме крови было одинаковым в напитках при различных температурах. Опорожнение желудка не отличалось, несмотря на разницу в температуре напитков. Это исследование отражает данные литературы о том, что, как правило, не было обнаружено влияния температуры еды на скорость опорожнения желудка, за исключением случаев употребления очень холодных или очень горячих напитков.

Стресс и беспокойство могут снизить моторику желудочно-кишечного тракта и скорость опорожнения желудка. Это снижение скорости опорожнения желудка обычно связано с изменениями концентрации циркулирующих гормонов из-за стресса. Некоторые из этих гормонов (например, адреналин) также уменьшают



кровоток в желудочно-кишечном тракте.

Помимо факторов, упомянутых ранее, на опорожнение желудка могут влиять и другие факторы. Исследования в жарких условиях показали, что обезвоживание и гипертермия могут вызывать замедление опорожнения желудка (Neufer и соавт., 1989; Rehrer и соавт., 1990). Поскольку субъекты в этих исследованиях становились обезвоженными и гипертермическими одновременно, невозможно определить, какие механизмы были и были ли дегидратация, гипертермия или их комбинация ответственными за снижение скорости опорожнения желудка (Jeukendrup & Gleeson 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>).

У женщин скорость опорожнения желудка немного ниже, чем у мужчин, хотя скорость опорожнения желудка, похоже, несколько увеличивается во время овуляции. Интересно, что женщины, как сообщается, более склонны к жалобам со стороны желудочно-кишечного тракта после длительных тренировок на выносливость. Это открытие могло быть связано с более медленным опорожнением желудка.

Возможно, что индивидуальные различия в опорожнении желудка связаны с диетой и «тренировкой желудка». В следующем разделе мы обсудим «тренируемость» желудка.

1.2 «Тренировка желудка»

Однако есть неофициальные данные о том, что желудок может адаптироваться к потреблению больших объемов жидкости, твердых веществ или их комбинаций (Jeukendrup, 2017). Например, серьезные участники соревнований по питанию, как известно, «тренируют» свой желудок, чтобы удерживать большие объемы пищи с меньшим дискомфортом, и благодаря регулярным тренировкам они могут съесть объемы пищи в течение 10 минут, что немыслимо для среднестатистического неподготовленного человека. Текущий небывалый рекорд - 69 хот-догов (с булочкой) за 10 мин. Чтобы добиться этого, участники соревнований по еде тренируются, используя различные методы: жевание больших кусков жевательной резинки в течение более длительных периодов времени, расширение желудка путем употребления жидкости или употребления в пищу продуктов конкурентов (Jeukendrup, 2017). Объемы увеличиваются постепенно, и требуется много недель, чтобы достичь уровня, на котором эти едоки могут быть конкурентоспособными. Это демонстрирует приспособляемость желудка. Проведение этой «тренировки желудка» имеет два основных эффекта: 1. Желудок может расширяться и вмещать больше еды и 2. Ощущение полного желудка переносится лучше и не воспринимается как полный. Оба аспекта могут быть полезны при выполнении упражнений.



Текущие рекомендации советуют употреблять тот объем жидкости во время тренировок, который предотвращает обезвоживание свыше 2% (2% веса тела). Рекомендуемое потребление жидкости может быть значительным, особенно у тренированных спортсменов а также в жарких условиях, когда интенсивность потоотделения находится на высоком уровне. Потребление такого большого объема жидкости может вызвать дискомфорт, а в некоторых случаях - проблемы с желудочно-кишечным трактом. Таким образом, спортсмены, как правило, контролируют ощущения комфорта желудочно-кишечного тракта, с одной стороны, а с другой стороны гидратацию, употребление и доставку углеводов. Рекомендуется тренировать эти более высокие дозы, чтобы уменьшить дискомфорт и снизить вероятность желудочно-кишечного расстройства (Jeukendrup, 2013, 2014; Jeukendrup, 2011b). К сожалению, на данный момент существует очень мало исследований, в которых непосредственно изучались бы такие эффекты «диетической тренировки желудка».

Lambert и соавт. (2008) показали, что тренированные бегуны могли комфортно переносить прием раствора углеводов-электролитов со скоростью, примерно равной их скорости потоотделения, в течение 90 минут бега при интенсивности 65% от МПК (максимальное потребление кислорода), при температуре около 25°C, относительной влажности 30% (RH) окружающей среды. Когда эти бегуны впервые проглотили такой объем жидкости, это вызвало сильный дискомфорт. Интересно, что исследователи заметили, что ощущения комфорта в желудке со временем значительно улучшились благодаря практике таких высоких доз. Следует отметить, что это улучшение комфорта произошло без заметных изменений скорости опорожнения желудка (Lambert и соавт., 2008). Возможно, желудок адаптировался, расширив свои стенки и увеличив объем, и оставив больше места для жидкости. Такие изменения, вероятно, снижают ощущения дискомфорта в желудке и уменьшают стимул к более быстрому опорожнению желудка. Специально для тех спортсменов, которые испытывают желудочно-кишечный дискомфорт даже при приеме пищи относительно небольшого объема, тренировка приема больших объемов может быть эффективной стратегией, позволяющей избежать этих проблем во время тренировок и соревнований.

Исследования также показали, что опорожнение желудка от углеводов можно ускорить, увеличив потребление этого углевода совместно с иной пищей (Jeukendrup, 2017). Каннингем, Хоровиц и Рид (1991) дополнили диету двух групп добровольцев глюкозой в количестве 400 г в день в течение 3 дней. Время половинного опорожнения ($t_{1/2}$) для тестового обеда с глюкозой было значительно



быстрее после добавления глюкозы в стандартную диету по сравнению со стандартной диетой без добавления глюкозы (20,7 мин (медиана и диапазон 4,6-36,8) против 29,1 мин (19,8-38,4)). Интересно, что опорожнение желудка после протеинового напитка не изменилось (18,0 мин (медиана и диапазон 12,5-23,6 мин) против 16,1 мин (9,6-22,7 мин)). Авторы пришли к выводу, что специфическая адаптация регуляторных механизмов тонкого кишечника к опорожнению желудка от питательных растворов может происходить в ответ на увеличение диетической нагрузки. Это изменение может произойти очень быстро, в считанные дни. Другое исследование показало, что добавление к стандартной диете 440 г глюкозы в день в течение 4-7 дней ускоряет опорожнение желудка как от глюкозы, так и от фруктозы ($t_{1/2}$ 82 ± 8 против 106 ± 10 минут для глюкозы и 73 ± 9 против 106 ± 9 минут для фруктозы) (Horowitz, Cunningham, Wishart, Jones, & Read, 1996). Концентрации GIP (глюкозозависимый инсулиноподобный полипептид) в плазме были выше во время диеты с добавлением глюкозы, и, таким образом, авторы пришли к выводу, что опорожнение желудка как от глюкозы, так и от фруктозы ускоряется, вероятно, в результате снижения подавления обратной связи со стороны кишечных люминальных рецепторов (Horowitz и соавт., 1996).

Другое исследование показало, что ежедневный прием 120 г фруктозы в течение 3 дней ускоряет опорожнение желудка от фруктозы, но не от глюкозы (Yau, McLaughlin, Maughan, Gilmore, & Evans, 2014). Похоже, что относительно короткая продолжительность диетических манипуляций (3 дня) была достаточной, чтобы вызвать адаптацию при опорожнении желудка.

Такие наблюдения не специфичны для углеводов. Исследования показали, что диета с высоким содержанием жиров стимулирует опорожнение желудка. Cunningham, Daly, Horowitz, & Read (1991) продемонстрировали, что опорожнение желудка после съеденной пищи экспериментального состава ускорялось после 7 дней диеты с высоким содержанием жиров (258 г / день). Снижение $t_{1/2}$ после съеденного завтрака с экспериментальным составом в течении времени проведения эксперимента достигло значимых показателей только через 14 дней. Через 4 дня наблюдались аналогичные тенденции, но они не достигли статистической значимости. Это говорит о том, что адаптация к жиру в рационе может происходить медленнее, чем адаптационная реакция на углеводы. Castiglione и соавт.(2002) продемонстрировали аналогичную адаптацию после 14 дней диеты с высоким содержанием жиров и сообщили, что эти эффекты были очень специфичными для жиров, и углеводная пища доставлялась с той же скоростью до и после применения диеты с высоким содержанием жиров.

Адаптации, вероятно, объясняются десенсибилизацией (саморегуляцией производительности) рецепторов питательных веществ и уменьшением



подавления опорожнения желудка с помощью обратной связи. Однако также возможно, что повышенное всасывание приводит к уменьшению воздействия питательных веществ на рецепторы. Как мы увидим в следующих разделах, также имеются данные об увеличении всасывания питательных веществ в ответ на изменения в диете.

Таким образом, исследования ясно продемонстрировали, что определенный рацион питания приводит к специфичным адаптациям опорожнения желудка. Например, повышенное потребление глюкозы с пищей ускорит опорожнение желудка от глюкозы, но не от белка, а увеличение потребления жиров с пищей приведет к более быстрому опорожнению желудка от жиров, но не углеводов. Однако, на данный момент, существует мало исследований, посвященных улучшению переносимости и опорожнения желудка во время тренировок и соревнований, но результаты в целом выглядят многообещающими. Эффекты наблюдались через 3 дня диетических манипуляций (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

В футболе этот тип тренировки «желудка» может помочь игроку, который не принимает никаких углеводов или жидкости до и во время матча, по причине боязни получить ощущение желудочно-кишечного дискомфорта.

1.2.1 Поглощение углеводов

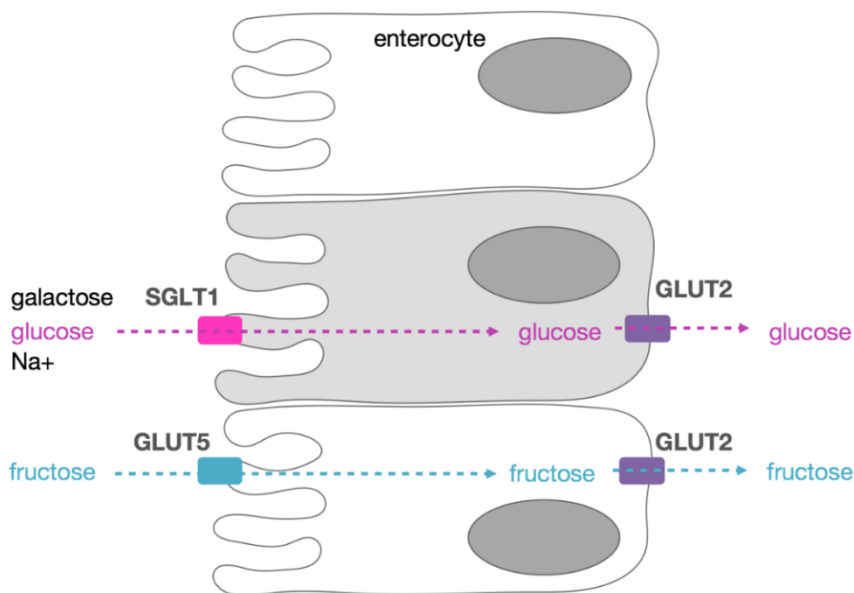
После опорожнения желудка большая часть жидкости и углеводов абсорбируется в двенадцатиперстной и тощей кишках. Глюкоза и галактоза транспортируются через люминальную (просветную) мембрану энтероцитов натрийзависимым переносчиком глюкозы SGLT1 (белок транспорта натрия-глюкозы-галактозы против градиента концентрации).

Поглощение глюкозы (и галактозы) связано с транспортом ионов натрия (Na^+) в клетку и связанным с ним электрохимическим градиентом концентрации Na^+ . Na^+ - K^+ -АТФ-аза, расположенная на базолатеральной мембране энтероцита, отвечает за поддержание электрохимического градиента пониженной концентрации Na^+ внутри клетки (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

В большинстве исследований на млекопитающих было показано, что SGLT1 экспрессируется на щеточной границе энтероцитов (цитоплазматическая мембрана клеток в виде складок) (Batchelor и соавт., 2011; Dyer и соавт., 2009; Margolskee и соавт., 2007; Moran, Al-Rammahi, Arora, Batchelor, Coulter, Daly, и соавт., 2010; Takata, Kasahara, Kasahara, Ezaki, & Hirano, 1992) (рисунок 4). Уровни экспрессии обычно наиболее высоки в тощей кишке, за которой следуют двенадцатиперстная кишка и подвздошная кишка (Balen и соавт., 2008). Это соответствует нашему пониманию того, что большая часть поглощения происходит в тощей кишке. SGLT1 не экспрессируется в толстом кишечнике (Balen и соавт., 2008).



Рисунок 4: Поглощение глюкозы и фруктозы. Глюкоза и фруктоза всасываются разными путями с участием SGLT1 и GLUT5 соответственно. (SGLT1= натрийзависимый переносчик глюкозы и галактозы 1, GLUT5 = переносчик глюкозы 5 (переносчик фруктозы), GLUT2 = переносчик глюкозы 2)



Source: Jeukendrup, 2017
 Источник: Jeukendrup, 2017, <https://bit.ly/2soS2oQ>

Enterocyte	Энтероцит (клетка эпителия кишечника)
------------	---------------------------------------



Galactose	Галактоза
Glucose	Глюкоза
Na ⁺	Na ⁺ (ион натрия)
Fructose	Фруктоза
SGLT1	SGLT1 (натрийзависимый переносчик глюкозы и галактозы 1)
GLUT5	GLUT5 (Инсулинзависимый белок-переносчик глюкозы путем облегченной диффузии 5)

Фруктоза использует другой переносчик глюкозы (GLUT5), который не зависит от натрия и очень специфичен для фруктозы (рис. 4). Регулирование GLUT5 происходит быстрее, чем регулирование SGLT1. Изменения в транспорте фруктозы обычно сопровождаются аналогичными изменениями в мРНК GLUT5 и в содержании белка на цитоплазматической мембране энтероцита. У крыс мРНК GLUT5 удваивается в течение 3 часов после перфузии кишечника раствором фруктозы (Kishi, Takase, & Goda, 1999). Следует отметить, что эти эффекты были продемонстрированы только при неестественно высоком уровне потребления фруктозы (по крайней мере, 30% энергии в рационе приходится на фруктозу, а типичное потребление в западной диете составляет около 9%).

Из энтероцитов в системный кровоток сахарам необходимо пройти через базолатеральную мембрану. Все три моносахарида используют двунаправленный транспортер GLUT2, который также не зависит от натрия.



Считается, что способность GLUT2 транспортировать глюкозу через градиент концентрации очень велика (Kellett, 2001; Kellett, Brot-Laroche, Mace, & Leturque, 2008).

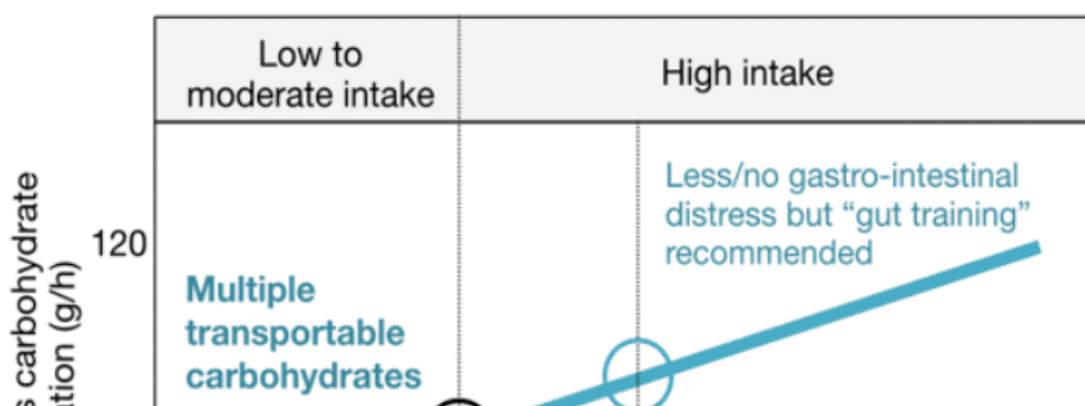
Существует мало доказательств наличия других переносчиков углеводов в дополнение к переносчикам SGLT1 и GLUT5 на просветной мембране и GLUT2 на базолатеральной мембране. Были предложения других транспортеров, но кажется, что если они существуют, они будут относительно не важны для транспортировки углеводов с количественной точки зрения. Поскольку производительность переносчика GLUT2 не кажется ограниченной, в связи с этим, далее по тексту мы сосредоточимся в основном на SGLT1 и GLUT5.

Регулирование белков транспорта углеводов имеет важное значение для обеспечения организма глюкозой в состоянии покоя. Кроме того, во время упражнений, когда экзогенная доставка углеводов может быть важна для поддержания заданного уровня работоспособности, переносчики будут нести ответственность за доставку глюкозы к работающим мышцам. Исследования физических упражнений предоставили косвенные, но убедительные доказательства того, что доставка углеводов ограничена транспортной способностью SGLT1 (обзоры см. В Jeukendrup, 2011a, 2011b, 2013, 2014). Недавний обзор, основанный в основном на более прямых измерениях на животных, также пришел к выводу, что кишечник обладает способностью абсорбировать глюкозу за счет базальных уровней SGLT1, но эта способность становится ограничивающей, когда экзогенные углеводы поступающие с пищей превышают определенный уровень (Shirazi-Beechey, 2011) (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

Это может иметь значение в футболе, поскольку исследования показывают, что до и во время матча следует употреблять более 60 г углеводов, и даже однократная доза углеводов может привести к насыщению переносчиков углеводов (Adoro, Peronnet, Massicotte, Brisson, & Hillaire-Marcel, 1994; Jeukendrup, 2010).

При нормах потребления более 60-70 граммов углеводов в час (глюкоза, сахароза, мальтоза, мальтодекстрин, крахмал) пиковое окисление экзогенных углеводов достигает около 60 граммов в час (рисунок 5) (Jeukendrup, 2011a, 2011b, 2013, 2014).

Рисунок 5: Схема экзогенного окисления углеводов из одного углевода (оранжевый) и нескольких переносимых углеводов (синий), на основе данных, представленных в другом источнике.



Источник: Jeukendrup, 2014. <https://bit.ly/2QINjY0>

low to moderate intake	потребление от низкого до умеренного
High intake	Высокое потребление
Exogenous carbohydrate oxidation (g/h)	Экзогенное окисление углеводов (г / ч)
Multiple transportable carbohydrates	Многочисленные переносимые углеводы
Single carbohydrate source	Единый источник углеводов



Gastro-intestinal problems likely	Вероятны желудочно-кишечные проблемы
Less/ no gastro-intestinal distress but “gut training” recommended	Снижены или отсутствуют / желудочно-кишечные расстройства, но рекомендуется «тренировка кишечника»

Снижены или отсутствуют желудочно-кишечные расстройства, но рекомендуется «тренировка кишечника»

Понятно, что более высокая скорость окисления может быть достигнута с использованием нескольких видов транспортируемых углеводов, особенно при большом их потреблении. При потреблении до 60 г / ч нет разницы между отдельными и многочисленными транспортируемыми углеводами, но когда потребление увеличивается выше 60 г / ч и натрийзависимый переносчик глюкозы 1 (SGLT1) становится полностью насыщенным, добавление фруктозы приведет к более высокой скорости окисления экзогенных углеводов. Рекомендуемая доза для одного или нескольких переносимых углеводов обозначена кружком. Если потребление одного источника углеводов превышает 60 г / ч, вероятны желудочно-кишечные проблемы. При использовании нескольких переносимых углеводов наблюдается снижение симптоматики, но рекомендуется «тренировать кишечник» (и привыкать к высокому потреблению углеводов).

Даже прием внутрь 144 г / ч (Jentjens & Jeukendrup, 2005) или 180 г / ч (Jeukendrup, 1999) не увеличивал скорость экзогенного окисления углеводов намного выше, чем прием 60 г / ч углеводов. Поскольку это ограничение не было вызвано опорожнением желудка, поглощением глюкозы мышцами или накоплением гликогена в печени, был сделан вывод, что поглощение должно быть ограничивающим (Jeukendrup, 2010). Когда фруктоза принималась в дополнение к большому количеству глюкозы, скорость окисления

углеводов была выше 60 г / ч (Jentjens, Venables, & Jeukendrup, 2004). Эти исследования убедительно показали, что транспорт глюкозы через эпителиальную клетку был ограничивающим фактором и что была достигнута максимальная транспортная способность SGLT1 приблизительно равная 60 г / ч (Pfeiffer, Stellingwerff, Zaltas, & Jeukendrup, 2010). По всей видимости, существует зависимость доза-реакция между потреблением углеводов и эффективностью (Smith и соавт., 2013; Smith и соавт., 2010; Vandenberghe & Hopkins, 2011), и футбольные исследования, похоже, также показывают большую пользу при более высоком потреблении. Снижение емкости кишечника во время упражнений в сочетании с повышенным потреблением углеводов также может привести к желудочно-кишечному расстройству (de Oliveira и соавт., 2014). Это означает, что необходимо найти способы улучшить способность усваивать углеводы.

1.2.2 Тренировка кишечника

Тренировка кишечника была предложена как способ увеличения числа и / или активности переносчиков SGLT1, но доказательства на людях пока ограничены (Jeukendrup, 2013).

Используя метод сегментарной перфузии, Shi и соавт.(1995) сообщили о тесной взаимосвязи между абсорбцией воды и абсорбцией растворенных веществ в двенадцатиперстной кишке, особенно при наличии нескольких транспортируемых субстратов (например, глюкозы, сахарозы, глицина, Na⁺). Мы подтвердили это на людях во время выполнения упражнений: несколько переносимых углеводов увеличивают всасывание и окисление углеводов, и это было связано с повышенным всасыванием жидкости (Jeukendrup, 2010). Следовательно, еще одно преимущество увеличения транспортной способности углеводов состоит в том, что потребление жидкости, вероятно, также улучшится (для данного потребления углеводов). Улучшенное поглощение жидкости может помочь предотвратить обезвоживание (и помочь предотвратить снижение работоспособности, вызванное обезвоживанием), и более полное поглощение жидкости также может снизить вероятность дискомфорта в желудочно-кишечном тракте (de Oliveira и соавт., 2014).

Для разработки практических рекомендаций важно понимать регуляцию транспорта глюкозы в кишечнике. Поэтому ниже мы



обсудим данный механизм более подробно, прежде чем давать рекомендации, имеющие практическое значение.

Было показано, что регуляция абсорбции глюкозы напрямую связана с экспрессией белка SGLT1. Боб Крейн предположил существование совместного транспорта Na⁺ и глюкозы в 1960 году на симпозиуме по мембранному транспорту и метаболизму в Праге (Kleinzeller, 1961), но фактический переносчик не был идентифицирован до 1980-х годов (Nosang, 1981). Исследования 1960-х годов также показали, что потребление углеводов с пищей может влиять на способность усваивать глюкозу (Ginsburg & Heggeness, 1968). В 1983 году было продемонстрировано, что кишечные переносчики активировались и подавлялись в зависимости от состава рациона (Карасов, Понд, Сольберг и Даймонд, 1983). По крайней мере, у крыс, предполагается, что изменения в диете не должны быть значительными, чтобы получить эффекты влияющие на всасывание, и эти эффекты наблюдались не только для сахаров, но и для аминокислот (Карасов и соавт., 1983). У крыс наблюдалось увеличение абсорбции всего за 0,5 дня (Карасов и соавт., 1983). Также понадобилось очень мало времени, чтобы заметить, что пищеварительные ферменты активируются в ответ на диетический состав. Например, Дерен и соавт. (1967) продемонстрировали в 1967 году, что у крыс, голодавших в течение 3 дней, в ответ на сахарозную диету наблюдалось 4-кратное увеличение активности сахарозы и мальтазы по сравнению с казеиновой диетой. Это коррелировало с увеличением гидролиза сахарозы и абсорбции фруктозы.

Когда в 1980-х годах в кишечнике были обнаружены переносчики сахара, начались исследования по измерению изменений содержания и активности SGLT1 в ответ на диету. Как активность, так и количество SGLT1, как было показано, регулируются потреблением углеводов с пищей на ряде моделей грызунов (Dyer и соавт., 2009; Ferraris, Villenas, Hirayama, & Diamond, 1992). Понятно, что белок-переносчик SGLT1 реагирует на концентрацию глюкозы в просвете. Однако при использовании непроницаемых для мембран аналогов глюкозы SGLT1 стимулировался в той же степени (Dyer, Vayro, King, & Shirazi-Beechey, 2003). Это предполагает, что рецептор глюкозы обнаруживает саму глюкозу или ее аналоги, инициируя активацию переносчиков SGLT1.

Было показано, что специализированные клетки (L-клетки и K-клетки) в просветной мембране кишечника экспрессируют клетки вкусовых рецепторов.

В частности, было продемонстрировано, что рецепторы T1R2 и T1R3 отвечают за ощущение сладости. Клетки T1R2 и T1R3 связаны через



G-белок (альфа-а-густдучин) с каскадом последующих клеточных событий, которые в конечном итоге приводят к усилению регуляции SGLT1. Более подробное обсуждение возможных путей будет представлено в следующих разделах.

SGLT1 активируется не только в ответ на пищевые углеводы, но также и в ответ на подсластители. Margolskee и соавт.(2007) подтвердили более ранние результаты, сообщив, что мыши дикого типа, в рацион которых добавлялись углеводы, почти вдвое увеличивали экспрессию белка SGLT1 по сравнению с мышами, соблюдающими диету с низким содержанием углеводов. Однако, когда к низкоуглеводной диете добавляли подсластители сукралозу, ацесульфам К или сахарин, но не аспартам, экспрессия SGLT1 также удваивалась. То, что аспартам не действует, неудивительно, потому что известно, что мыши не воспринимают аспартам как сладкий.

Ряд пищевых компонентов участвует в регуляции транспорта глюкозы. Потребление хлорида натрия, по-видимому, модулирует транспорт глюкозы в кишечнике. Исследования показывают, что хронически повышенные концентрации глюкозы и натрия в просвете приводят к повышенной экспрессии белка SGLT1 (Bindslev, Hirayama, & Wright, 1997). Все еще остается много вопросов о механизмах и о том, являются ли эффекты натрия и глюкозы аддитивными (Ferraris, 2001).

Пищевые волокна являются еще одним компонентом с потенциальными эффектами, но результаты исследований были неоднозначными: некоторые исследования показали снижение, некоторые - без изменений, а некоторые даже увеличение транспорта глюкозы в кишечнике в ответ на увеличение потребления пищевых волокон (Ferraris, 2001). Клетчатка - это достаточно широкий термин, обозначающий совершенно разные характеристики. Клетчатка может влиять на опорожнение желудка, моторику, а также на состав и структуру кишечного тракта. Поэтому неудивительно, что результаты исследований оказались неоднозначными.

Насколько нам известно, никакие исследования на людях не изучали влияние пищевых компонентов на всасывание глюкозы в кишечнике, и поэтому разрабатывать твердые рекомендации в отсутствие таких результатов преждевременно.

Белок SGLT1 активируется в ответ на ряд стимулов, включая, помимо прочего, глюкозу и галактозу: 3-О-метилглюкозу (неметаболизируемый субстрат SGLT1) и фруктозу (не субстрат SGLT1). Повышающая регуляция белка SGLT1 зависит от доступности этих сахаров, но метаболизм этих сахаров не является необходимым. Тот факт, что экспрессия SGLT1 реагирует на аналоги



глюкозы и сахара, не транспортируемые SGLT1, предполагает, что существует отдельный рецептор, который обнаруживает эти аналоги глюкозы.

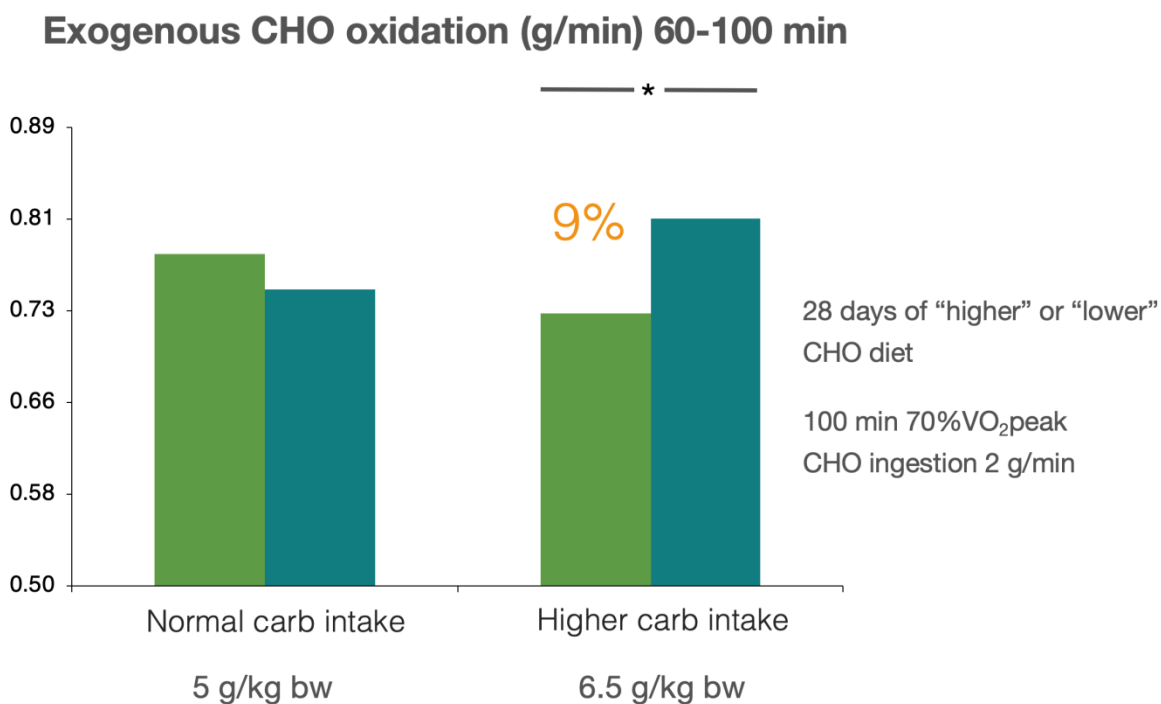
У мышей белок SGLT1 кишечника в мембранных пузырьках щеточной каймы в средней части тонкого кишечника увеличивается в 1,9 раза после 2 недель высокоуглеводной диеты (Margolskee и соавт., 2007). В исследовании лошадей, которые, как полагают, медленно адаптируются к увеличению углеводов, экспрессия белка SGLT1 из биопсии кишечника была увеличена всего через 1 неделю высокоуглеводного кормления, а численность увеличилась еще больше после 1 месяца и 2 месяцев на диете. У поросят, получавших более углеводный рацион в течение 3 дней, наблюдалось увеличение белка SGLT1, а также абсорбции глюкозы (Moran, Al-Rammahi, Arora, Batchelor, Coulter, Ionescu, и соавт, 2010).

Хотя прямых исследований на людях не существует, большое количество исследований на животных показывают, что изменение экспрессии SGLT1 во времени происходит относительно быстро. В нескольких исследованиях наблюдались значительные изменения всего через несколько дней после изменения диеты (Margolskee и соавт., 2007). Поэтому кажется разумным предположить, что несколько дней высокого потребления углеводов могут увеличить содержание SGLT1 и способность усваивать глюкозу, а более длительное соблюдение диеты может привести к большей адаптации.

Эlegantное исследование Cox и соавт.(2010) дает нам сегодня наиболее важные подсказки о том, что изменение диеты может улучшить доставку углеводов во время упражнений. В этом исследовании 16 велосипедистов, специализирующихся на выносливости, были разделены на экспериментальную группу с высоким содержанием углеводов и контрольную группу. В течение 28 дней обе группы тренировались (16 часов в неделю), и в результате этой тренировочной программы их работоспособность улучшилась. Обе группы получали диету с умеренным содержанием углеводов (5 г / кг / день). Группа с высоким содержанием углеводов дополнительно получала углеводы 1,5 г / кг / час упражнений, выполняемых ежедневно. Углеводная добавка предоставлялась в основном в виде напитка с глюкозой. Кроме того, они получали продукты, богатые углеводами, чтобы удовлетворить почасовые потребности в физических упражнениях. Контрольная группа также получала пищевую добавку, но она состояла из продуктов, богатых жирами и белками, с ограниченным содержанием углеводов. Испытуемые из группы с высоким содержанием углеводов принимали добавки до и во время тренировки, а также сразу после нее. Велосипедисты контрольной группы принимали добавку после тренировки. В среднем группа с добавками углеводов имела высокое ежедневное потребление углеводов 8,5 г / кг, тогда как контрольная группа потребляла 5,3 г / кг / день (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).



Рисунок 6: Исследование на человеке, которое показывает, что адаптация в кишечнике может происходить после увеличения потребления углеводов.



Источник: Jeukendrup A, 2018, mysportscience, адаптировано из Cox, 2010.

Exogenous CHO oxidation (g/min) 60-100 min	Экзогенное окисление углеводов (г / мин) 60-100 мин
--	---



28 days of higher or lower CHO diet	28 дней диеты с повышенным или пониженным содержанием углеводов
100 min 70% VO ₂ peak CHO ingestion 2 g/min	100 мин 70% от VO ₂ пик (пиковое потребление кислорода) при приеме внутрь углеводов 2 г / мин
Normal carb intake	Нормальное потребление углеводов
Higher carb intake	Повышенное потребление углеводов
5 g/kg bw	5 г / кг массы тела
6.5 g/kg bw	6,5 г / кг массы тела

До и после 28-дневного периода тренировок все испытуемые выполнили пробную тренировку, в которой они получали 10% раствор углеводов. Изотопные индикаторы использовались для измерения окисления экзогенных углеводов. Было замечено, что экзогенное окисление углеводов улучшилось после диеты с добавлением углеводов. Наиболее вероятное объяснение - увеличение способности поглощать углеводы в результате активации переносчиков SGLT1. Был сделан вывод, что для спортсменов, которые соревнуются в видах спорта на выносливость, где экзогенные углеводы являются важным источником энергии и есть большие возможности для приема углеводов, такой подход к диете с более высоким потреблением углеводов может быть полезным (Cox и соавт., 2010; Jeukendrup, 2013, 2014).

Стало ясно, что увеличение потребления углеводов с пищей может увеличить количество и активность кишечных переносчиков SGLT1 и что это приводит к улучшению способности усваивать углеводы. Возможен и обратный эффект. При снижении углеводов в диете за счет уменьшения потребления углеводов, применения диеты с высоким содержанием жиров или даже кетогенной диеты, или за счет снижения общего потребления энергии, ежедневное потребление углеводов может стать очень низким. Исследования на ягнятах показали, что по мере того, как диета меняется с молока на траву, развивается рубец, где пищевые углеводы ферментируются в летучие жирные кислоты. Образование рубца эффективно предотвращает доставку моносахаридов в кишечник. В результате наблюдается заметное снижение как содержания белка SGLT1 в кишечнике, так и способности тонкого кишечника поглощать углеводы (Shirazi-Beechey, 1991; Dyer, 1997) (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

1.2.3 Как тренировать кишечник?

В предыдущих разделах мы доказали, что тренировка кишечника может быть хорошей идеей, в том числе и для футболистов. Для этого существует множество способов (рис. 7). Особенно те игроки, которые изо всех сил стараются съесть что-нибудь близкое к матчу или боятся, что это вызовет проблемы с желудочно-кишечным трактом, могут извлечь из этого выгоду. Хотя результаты исследований, полученные на животных еще требуется экстраполировать, вполне вероятно, что адаптации в желудке и кишечнике человека происходят так же быстро, как и у других млекопитающих. Это означает, что несколько дней, и тем более, 2 недели высокоуглеводной диеты приведут к значительному увеличению содержания SGLT1 в просвете кишечника, а всего несколько дней тренировки желудка позволят улучшить ощущения комфорта в нем.

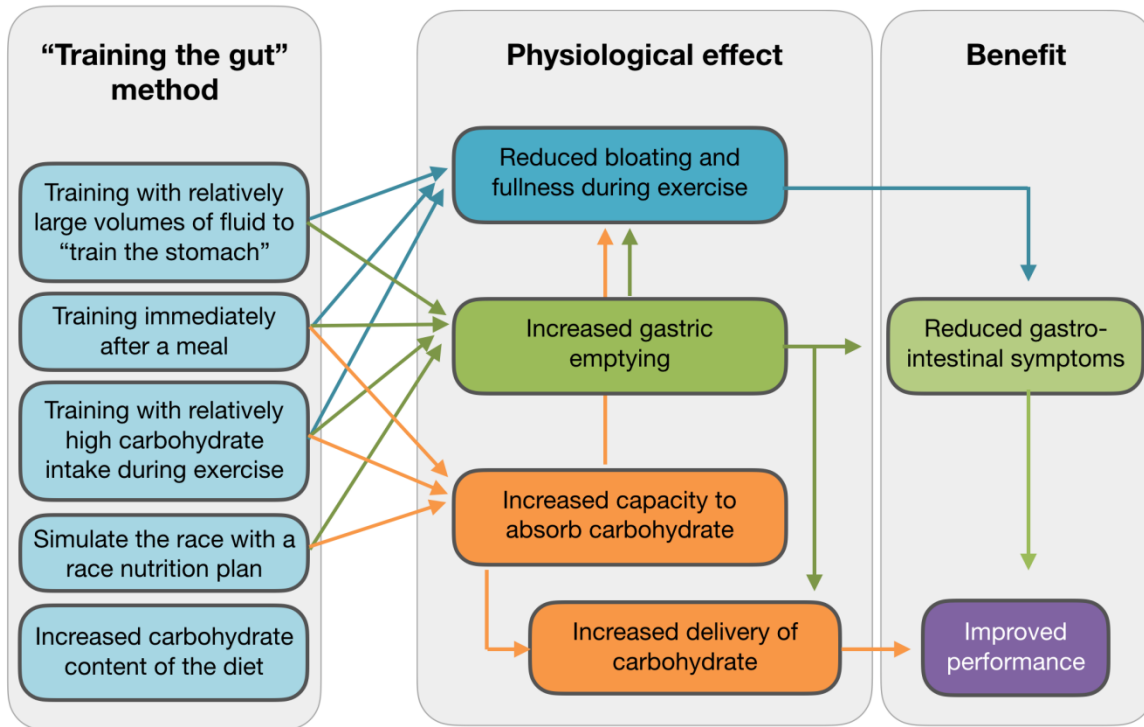
Основываясь на данных о животных, увеличение количества пищевых углеводов с 40% до 70% может привести к удвоению переносчиков SGLT1 в течение 2 недель. Если мы переведем это на диету футболиста, то это, вероятно, означает, что для возникновения некоторой адаптации игроку достаточно придерживаться рекомендаций (обычно 5-8 г / кг), также вероятно, что более высокие дозы окажут положительное влияние на регуляцию способности кишечного транспорта углеводов.

В дополнение к повышенной абсорбционной способности важно убедиться, что более высокое потребление углеводов переносится и выводится из желудка. Хотя обычно считается, что опорожнение желудка не является ограничивающим фактором, вполне вероятно, что комбинация факторов (например, тепло, высокое потребление углеводов и упражнения высокой интенсивности, которые, как известно, препятствуют опорожнению желудка) будет действовать одновременно, тем самым ставя под угрозу опорожнение желудка. Поэтому важно практиковать во время тренировок стратегию спортивного питания и



привыкнуть к большому количеству потребляемой пищи или более высокому потреблению углеводов. (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>)

Рисунок 7: Сводка методов «тренировки кишечника», адаптаций, которые могут произойти в кишечнике, и их последствий для работоспособности.



Источник: Jeukendrup, 2017, <https://bit.ly/2slxMEх>

Training the gut method	Метод тренировки кишечника
Training with relatively large volumes of fluid to train the stomach	Тренировка с относительно большим объемом жидкости для тренировки желудка
Training immediately after a meal	Тренировка сразу после еды



Training with relatively high carbohydrate intake during exercise	Тренировки с относительно высоким потреблением углеводов во время упражнений
Simulate the race with a race nutrition plan	Моделирование соревнований с помощью плана питания для соревнований
Increased carbohydrate content of the diet	Повышенное содержание углеводов в рационе
Physiological effect	Физиологический эффект
Reduced bloating and fullness during exercise	Уменьшение вздутия живота и полноты во время упражнений
Increased gastric emptying	Повышенное опорожнение желудка
Increased capacity to absorb carbohydrate	Повышенная способность усваивать углеводы

Increased delivery of carbohydrate	Повышенная доставка углеводов
Benefit	Выгода
Reduced gastro-intestinal symptoms	Уменьшение желудочно-кишечных симптомов
Improved performance	Повышение работоспособности и результативности

Исследование Cox и соавт. (2010) предполагают, что эти переносчики могут быть активированы за относительно короткий период времени, когда поддерживается более высокое потребление углеводов, в основном за счет приема углеводов до и во время тренировки.

Хотя точная величина эффекта у спортсменов, которые уже придерживаются высокоуглеводной диеты, может быть неопределенной, кажется справедливым сделать вывод, что те спортсмены, которые не придерживаются очень высокоуглеводной диеты, уже могут получить существенную пользу. Верно и обратное: когда спортсмены ограничивают углеводы, следуют низкоуглеводной, высокожировой или кетогенной диете, или сокращают потребление энергии, чтобы похудеть, то снижение дневной углеводной нагрузки, вероятно, снизит способность усваивать углеводы во время соревнований. Это может быть причиной того, что эти спортсмены неофициально сообщают о большем количестве желудочно-кишечных проблем. Этим спортсменам также рекомендуется включить в свой тренировочный план несколько тренировочных дней с высоким содержанием углеводов.

Текущие рекомендации для матчей состоят в том, что не менее 60 граммов употребляется непосредственно перед и во время перерыва. В идеале должно потребляться немного большее количество углеводов (90 г / ч), и эти углеводы должны состоять из смеси нескольких переносимых углеводов, например: глюкоза, фруктоза или мальтодекстрин. Чтобы получить 90 г углеводов в час, спортсмены могут «смешивать и сочетать» в соответствии со своими личными



предпочтениями и принимать во внимание свою переносимость (Jeukendrup, 2013, 2014). Поскольку кишечник достаточно легко адаптируется, кажется разумным включить тренировки с высоким потреблением углеводов в еженедельный распорядок и регулярно потреблять углеводы во время тренировок (это просто означает, что раз в неделю во время тяжелых тренировок соблюдается тот же распорядок, что и в день матча). С помощью этих стратегий кишечник можно научить поглощать и окислять больше углеводов, что, в свою очередь, должно привести к снижению желудочно-кишечных расстройств и повышению работоспособности (Jeukendrup, 2017 г., <https://bit.ly/2soS2oQ>).

1.2.4 Микробиом кишечника

Термин микробиота относится к типам организмов (бактерии, вирусы или эукариоты), которые присутствуют в окружающей среде обитания, а микробиом представляет собой набор различных микробов и их функций или генов, обнаруженных в определенной окружающей среде обитания (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Различные части тела имеют разные микробиомы, например, микробиом кожи отличается от микробиома кишечника, но все они являются частью микробиома человека. В кишечном тракте взрослого человека содержится около 1 кг различных бактерий (бациллы толстой кишки), общее количество которых превышает 100 триллионов клеток, что в 10 раз превышает количество клеток-хозяев в организме человека.

Желудочно-кишечный тракт содержит чрезвычайно сложную экологию микроорганизмов. У типичного человека обитает более 500 различных видов бактерий. Состав и распространение этих микроорганизмов зависят от возраста, состояния здоровья и диеты (Jeukendrup & Gleeson, 2018). Микробиом кишечника вызвал большой интерес в последние несколько лет.

Количество и тип бактерий в желудочно-кишечном тракте сильно различаются в зависимости от региона. У здоровых людей желудок и проксимальный отдел тонкой кишки содержат мало микроорганизмов, в основном из-за бактерицидной активности желудочной кислоты. В отличие от желудка и тонкой кишки, толстая кишка буквально кишит бактериями, преимущественно анаэробами (бактериями, которые выживают только в окружающей среде, практически лишенной кислорода) (см. Таблицу 1). Между этими двумя крайностями находится переходная зона, обычно в подвздошной кишке, где обнаруживаются умеренные количества как аэробных, так и анаэробных бактерий (Jeukendrup & Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>).



Таблица 1: Популяции микробов в пищеварительном тракте нормальных людей

	желудок	тонкая кишка	Подвздошная кишка	толстая кишка
Жизнеспособные бактерии на грамм	$10 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^4$	$10 \cdot 10^8$	$10 \cdot 10^{12}$
pH	3.0	6.0_7.0	7.5	6.8_7.3

Источник: Jeukendrup и Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>

Популяции бактерий, составляющие микробиоту толстого кишечника, выполняют ряд функций. Они переваривают углеводы, белки и липиды, которые не перевариваются и не всасываются в тонком кишечнике. Бактерии отвечают за ферментацию небольшого количества целлюлозы, но также производят витамин К, витамин В12, тиамин, рибофлавин и другие вещества. Витамин К особенно важен, потому что ежедневное потребление витамина К с продуктами питания обычно недостаточно (Jeukendrup & Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>)

В толстом кишечнике каждого человека насчитывается около 160 видов, и очень немногие из них являются общими для неродственных особей. Напротив, функции, обеспечиваемые этими видами, по-видимому, обнаруживаются в желудочно-кишечном тракте каждого человека, и это наблюдение приводит нас к выводу, что функция важнее, чем идентичность вида, обеспечивающего ее. Тем не менее различия в микробиоте кишечника могут иметь значение, потому что они могут привести к различиям в эффективности функции. Например, способность синтезировать короткоцепочечные жирные кислоты (SCFA) обнаружена у всех людей, но несмотря на это их количество может варьироваться (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Углеводная ферментация - это основная деятельность микробиоты кишечника человека, которая стимулирует образование энергии и экономию углерода толстой кишки. Доминирующие и преобладающие виды кишечных бактерий, включая бактерии продуцирующие SCFA, по-видимому, играют решающую роль в начальной деградации сложных полисахаридов растительного происхождения, сотрудничая с видами, специализирующимися на ферментации олигосахаридов (например, бифидобактериями), для высвобождения SCFA и газов, которые также используются в качестве источников углерода и энергии другими более специализированными бактериями. Эффективное преобразование сложных неперевариваемых диетических углеводов в SCFA обслуживает сообщества микробов с перекрестным кормлением и хозяина, при этом 10% наших суточных потребностей в энергии приходится на кишечное брожение.



Некоторые из SCFAs, включая бутират и пропионат, могут регулировать физиологию кишечника и иммунную функцию, в то время как ацетат действует как субстрат для липогенеза и глюконеогенеза (т.е. синтеза жира и сахара, соответственно). Недавно были определены ключевые роли этих метаболитов в регулировании различных функций организма. Например, иммунная функция играет вспомогательную роль в устранении воспаления. В толстой кишке большая часть этого углеводного брожения происходит в проксимальном отделе толстой кишки, по крайней мере, у людей, придерживающихся диеты западного стиля. По мере того как углеводы истощаются, а «пища» движется дистально по кишечнику, микробиота кишечника переключается на другие субстраты, особенно на белок или аминокислоты. Ферментация аминокислот, помимо выделения полезных SCFAs, производит ряд потенциально вредных соединений. Некоторые из них могут играть роль в заболеваниях кишечника, таких как рак толстой кишки или воспалительное заболевание кишечника (ВЗК). Напротив, пищевые волокна или потребление растительной пищи, по-видимому, препятствуют этому, подчеркивая важность поддержания углеводного брожения микробиома кишечника (Jeukendrup & Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>).

В последнее десятилетие интерес к микробиому человека значительно возрос. Существенным фактором стало осознание того, что комменсальные (совместно существующие) микроорганизмы, составляющие микробиоту человека, не просто пассажиры в хозяине, но также могут управлять некоторыми функциями хозяина.

У свободных от микробов грызунов удаление микробиоты оказывает сильное влияние почти на все аспекты способности хозяина нормально функционировать. Лучшее понимание механизмов и вклада микробиоты в различные заболевания может дать возможность разработать новые терапевтические средства и стратегии для модуляции микробиоты для лечения или предотвращения болезни. В здоровом состоянии микробиота создает питательные вещества и энергию для организма хозяина за счет ферментации неперевариваемых пищевых компонентов в толстом кишечнике и влияет как на обмен веществ, так и на иммунную систему хозяина. Кроме того, теперь ясно, что диета может иметь большое влияние на состав микробиоты, что должно открыть новые возможности для изменения здоровья с помощью диеты (Jeukendrup & Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>).

Пробиотики, пребиотики и полифенолы

Существует ряд диетических стратегий для регулирования состава или метаболической / иммунологической активности микробиоты кишечника человека, а пробиотики, пребиотики и полифенолы являются одними из наиболее хорошо изученных.



Пробиотики - это потенциально полезные бактерии или дрожжи. Пробиотики определяются как живые микроорганизмы, которые при введении в адекватных количествах могут принести пользу здоровью хозяина. Пробиотики могут иметь множественные взаимодействия с хозяином, включая конкурентное ингибирование других микробов, влияние на функцию слизистого барьера и взаимодействие с иммунными клетками и, в частности, с антигенпредставляющими дендритными клетками. Их можно найти в определенных продуктах питания или купить в качестве добавок. Примеры включают штаммы бактерий родов *Bifidobacterium* и *Lactobacillus*. Наиболее распространенными пробиотиками являются последние и их обычно называют молочнокислыми бактериями (LAB). Эти микробы уже много лет используются в пищевой промышленности. LAB способны превращать сахара (включая лактозу) и другие углеводы в молочную кислоту. Это преобразование не только обеспечивает характерный кислый вкус ферментированных молочных продуктов, таких как йогурт, но также за счет снижения pH может создавать меньше возможностей для роста «плохих бактерий», что создает возможные преимущества для здоровья за счет предотвращения желудочно-кишечных инфекций. Штаммы *Lactobacillus* и *Bifidobacterium* являются наиболее широко используемыми пробиотическими бактериями. Пробиотические бактериальные культуры призваны помочь естественной микрофлоре кишечника организма, экологии микробов («полезных бактерий»), восстановить себя. Иногда их рекомендуют после курса антибиотиков. Утверждается, что пробиотики укрепляют иммунную систему и барьерную функцию желудочно-кишечного тракта, помогая бороться с инфекциями, аллергией, чрезмерным употреблением алкоголя, стрессом, воздействием токсичных веществ и другими заболеваниями. Действительно, есть много примеров положительных результатов с различными штаммами пробиотиков против ряда болезненных состояний как у животных, так и у людей, но очевидно, что их полезные для здоровья свойства зависят от штамма. У людей есть доказательства того, что некоторые штаммы пробиотиков могут помочь уменьшить воспаление толстой кишки, диарею, вызванную антибиотиками, некоторые аллергические состояния, а также инфекции кишечника и дыхательных путей. Некоторые исследования у спортсменов подтверждают использование пробиотиков для снижения заболеваемости и / или тяжести симптомов инфекций верхних дыхательных путей (Jeukendrup & Gleeson, 2018).

Вместо того, чтобы употреблять пробиотики, люди могут есть продукты, которыми питаются «хорошие» бактерии. Эти продукты, известные как пребиотики, состоят из неперевариваемых пищевых волокон и сложных углеводов, которые стимулируют рост полезных бактерий в кишечнике. Примеры



включают инулин, олигофруктозу, галактофруктозу, галактоолигосахариды и ксилоолигосахариды. Утверждалось, что прием пребиотиков, которые ускоряют рост полезных бактерий, уже присутствующих в кишечнике, может быть более эффективным, чем прием добавок содержащих живые бактерий, по причине того, что последние могут быть уничтожены кислотностью желудка, как только они будут проглочены. Пребиотики естественным образом содержатся в небольших количествах в таких продуктах, как пшеница, овес, бананы, спаржа, лук-порей, чеснок и лук. Но чтобы получить адекватную суточную дозу, люди могут захотеть поискать в супермаркете продукты, обогащенные пребиотиками, или даже подумать о добавках пребиотиков. Как и в случае с пробиотиками, есть убедительные доказательства эффективности в профилактике или лечении многих заболеваний (например, ВЗК, рака толстой кишки, ожирения, диабета 2 типа и сердечно-сосудистых заболеваний) полученные из исследований на животных, однако данные полученные из исследований проведенных на людях остаются неоднозначными (Jeukendrup & Gleeson, 2018, <https://bit.ly/2LC9XB7>).

Полифенолы представляют собой разнообразный класс вторичных метаболитов растений, часто связанных с цветом, вкусом и защитными механизмами фруктов и овощей. Они давно изучаются как наиболее вероятный класс соединений, присутствующих в цельных растительных продуктах, способных влиять на физиологические процессы, защищающие от хронических заболеваний, связанных с диетой. Микробиота кишечника играет решающую роль в преобразовании пищевых полифенолов в абсорбируемые биологически активные соединения, и недавние исследования показывают, что диетическое вмешательство с использованием экстрактов полифенолов, в первую очередь деалкоголизированного экстракта полифенолов красного вина и флаванолов, полученных из какао, модулирует микробиоту кишечника человека в сторону большего улучшения. «профиля, способствующий укреплению здоровья» за счет увеличения относительной численности бифидобактерий и лактобактерий. Эти данные повышают вероятность того, что определенные функциональные продукты питания задействованы в основных экологических процессах, регулирующих структуру и функции сообщества кишечного микробиома, что способствует улучшению здоровья кишечной микробиоты и ее человеческого хозяина.

Последние исследования показывают, что и пробиотики, и пребиотики могут иметь широкую пользу для здоровья. Эффекты пребиотиков и пробиотиков, вероятно, опосредованные иммунным влиянием, могут распространяться за пределы желудочно-кишечного тракта и включать системные эффекты, такие как снижение тяжести простудных или других респираторных заболеваний, более низкая частота и уменьшение симптомов аллергии, а также уменьшение количества пропусков работы или дневного ухода с работы. Однако эта область находится в зачаточном состоянии. Существует неполное понимание роли микробиома в работоспособности. Поэтому любые предлагаемые рекомендации, которые связывают микробиом с результатами работы, также преждевременны.





Ссылки

- Адопо Э., Перонне Ф., Массикотт Д., Бриссон Г. Р. и Хиллер-Марсель К.** (1994). Соответствующее окисление экзогенной глюкозы и фруктозы, содержащихся в одном напитке во время тренировки. *J. Appl Physiol* (1985), 76 (3), 1014-1019. DOI: 10.1152 / jappl.1994.76.3.1014
- Андерсон, Л., Нотон, Р. Дж., Клоуз, Г. Л., Ди Микеле, Р., Морганс, Р., Драст, Б., и Мортон, Дж. П.** (2017). Ежедневное распределение потребления макроэлементов профессиональными футболистами английской Премьер-лиги. *Int J Sport Nutr Exerc Exerc Metab*, 27 (6), 491-498. DOI: 10.1123 / ijsnem.2016-0265
- Бален Д., Любоевич М., Брежак Д., Брзица Х., Злендер В., Кёпселл Х. и Саболич И.** (2008). Пересмотренная иммунолокализация котранспортера Na + -D-глюкозы SGLT1 в органах крысы с улучшенным антителом. *Am J Physiol Cell Physiol*, 295 (2), C475-489. DOI: 10.1152 / ajpcell.00180.2008
- Бэтчелор, Д. Дж., Аль-Раммахи, М., Моран, А. В., Бранд, Дж. Г., Ли, Х., Хаскинс, М.,... Ширази-Бичи, С. П.** (2011). Котранспортер-1 натрия / глюкозы, сладкий рецептор и экспрессия дисахаридазы в кишечнике домашней собаки и кошки: два вида с разными диетическими привычками. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol*, 300 (1), R67-75. DOI: 10.1152 / ajpregu.00262.2010
- Биндслев Н., Хираяма Б. А. и Райт Е. М.** (1997). Котранспорт Na / D-глюкозы и экспрессия SGLT1 в толстой кишке курицы коррелируют с диетическим Na +. *Comp Biochem Physiol A Physiol*, 118 (2), 219-227.
- Браунс, Ф., Зенден, Дж., Бекерс, Э. Дж., И Сарис, В. Х.** (1995). Осмолярность не влияет на скорость опорожнения желудка растворами для пероральной регидратации. *J. Parent Enteral Nutr*, 19 (5), 403-406.
- Костилл, Д. Л., и Салтин, Б.** (1974). Факторы, ограничивающие опорожнение желудка во время отдыха и физических упражнений. *J. App. Physiol.*, 37 (5), 679-683.
- Кокс, Г. Р., Кларк, С. А., Кокс, А. Дж., Халсон, С. Л., Харгривз, М., Хоули, Дж. А.,... Берк, Л. М.** (2010). Ежедневные тренировки с высоким содержанием углеводов увеличивают окисление экзогенных углеводов во время езды на велосипеде на выносливость. *J. Appl Physiol* (1985), 109 (1), 126-134. DOI: 10.1152 / japplphysiol.00950.2009
- Каннингем, К. М., Дейли, Дж., Горовиц, М., & Рид, Н. У.** (1991). Адаптация желудочно-кишечного тракта к диетам с различным жировым составом у людей-добровольцев. *Гут*, 32, 483-486.
- Каннингем, К. М., Горовиц, М., & Рид, Н. У.** (1991). Влияние краткосрочных пищевых добавок с глюкозой на опорожнение желудка у людей. *Br J Nutr*, 65 (1), 15-19.
- де Оливейра, Э. П., Бурины, Р. К., и Джеукендроп, А.** (2014). Жалобы со стороны желудочно-кишечного тракта во время упражнений: распространенность, этиология и рекомендации по питанию. *Sports Med*, 44 (Дополнение 1), 79-85. DOI: 10.1007 / s40279-014-0153-2
- Дайер, Дж., Аль-Раммахи, М., Водопад, Л., Салмон, К. С., Геор, Р. Дж., Буре, Л.,... Ширази-Бичи, С. П.** (2009). Адаптивный ответ кишечного переносчика Na + / глюкозы лошади (SGLT1) на увеличение содержания растворимых углеводов в пище. *Арка Пфлюгера*, 458 (2), 419-430. DOI: 10.1007 / s00424-008-0620-4



- Дайер, Дж., Вайро, С., Кинг, Т. П., и Ширази-Бичи, С. П.** (2003). Чувствительность к глюкозе в кишечном эпителии. *Eur J Biochem*, 270 (16), 3377-3388.
- Феррарис, Р. П.** (2001). Диета и регулирование развития кишечного транспорта сахара. *Biochem J*, 360 (Pt 2), 265-276.
- Феррарис Р. П., Вилленас С. А., Хираяма Б. А. и Даймонд Дж.** (1992). Влияние диеты на плотность переносчиков глюкозы вдоль оси кишечного крипта-ворсинка. *Am J Physiol*, 262 (6, часть 1), G1060-1068.
- Гинзбург, Дж. М., и Хеггенесс, Ф. У.** (1968). Адаптация к всасыванию моносахаридов у новорожденных и взрослых крыс. *J Nutr*, 96 (4), 494-498.
- Горовиц, М., Каннингем, К. М., Вишарт, Дж. М., Джонс, К. Л., и Рид, Н. В. (1996). Влияние краткосрочных пищевых добавок с глюкозой на опорожнение желудка от глюкозы и фруктозы и пероральную толерантность к глюкозе у здоровых субъектов. *Диабетология*, 39 (4), 481-486.
- Jentjens, R. L., & Jeukendrup, A. E.** (2005). Высокая скорость экзогенного окисления углеводов за счет смеси глюкозы и фруктозы, поступающей во время длительной езды на велосипеде. *Br J Nutr*, 93 (4), 485-492.
- Джентдженс, Р. Л., Венейблс, М. К., и Джекендруп, А. Э.** (2004). Окисление экзогенной глюкозы, сахарозы и мальтозы во время длительной езды на велосипеде. *J. Appl Physiol*, 96 (4), 1285-1291.
- Jeukendrup, A. E.** (1999). Возможная связь между питанием и перетренированностью. *Vlaams Tijdschrift voor Sportgeneeskunde*, 80, 37-45.
- Jeukendrup, A. E.** (2010). Углеводы и эффективность упражнений: роль нескольких переносимых углеводов. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*, 13 (4), 452-457. DOI: 10.1097 / MCO.0b013e328339de9f00075197-201007000-00019 [pii]
- Jeukendrup, A. E.** (2011a). Питание и виды спорта на выносливость: бег, велоспорт, триатлон. *J Sports Sci*, 29 (Дополнение 1), S91-99.
- Jeukendrup, A. E.** (2011b). Питание для видов спорта на выносливость: марафон, триатлон и велоспорт. *J Sports Sci*, 29 (Дополнение 1), S91-99. DOI: 10.1080 / 02640414.2011.610348
- Jeukendrup, A.** (2013). Новые рекомендации по потреблению углеводов. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser*, 75, 63-71. DOI: 10.1159 / 000345820
- Jeukendrup, A.** (2014). Шаг к индивидуальному спортивному питанию: потребление углеводов во время тренировки. *Sports Med*, 44 (Приложение 1), 25-33. DOI: 10.1007 / s40279-014-0148-z
- Jeukendrup, A. E.** (2016). Причина желудочно-кишечных проблем у спортсменов [Изображение]. Получено с <http://www.mysportscience.com/single-post/2016/1/20/Cause-of-gastrointestinal-problems-in-athletes>.
- Jeukendrup, A. E.** (2017). Тренировка кишечника для спортсменов. *Sports Med*, 47 (Приложение 1), 101-110. DOI: 10.1007 / s40279-017-0690-6
- Jeukendrup, A. E., & Gleeson, M.** (2018). Спортивное питание: введение в производство энергии и производительность (3-е изд.). Шампейн, США: кинетика человека.



Jeukendrup, A. E., & Jentjens, R. (2000). Окисление углеводного питания во время длительных упражнений: текущие мысли, рекомендации и направления будущих исследований. *Sports Med*, 29 (6), 407-424.

Jeukendrup, A. E., & McLaughlin, J. (2011). Употребление углеводов во время упражнений: влияние на производительность, адаптацию к тренировкам и обучаемость кишечника. *Nestle Nutr Inst Workshop Ser*, 69, 1-17. DOI: 10.1159 / 000329268

Карасов В. Х., Понд Р. С., 3-е, Сольберг Д. Х. и Даймонд Дж. М. (1983). Регулирование транспорта пролина и глюкозы в кишечнике мышей уровнями пищевого субстрата. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 80 (24), 7674-7677.

Келлетт, Г. Л. (2001). Облегченный компонент всасывания глюкозы в кишечнике. *J. Physiol*, 531 (Pt 3), 585-595.

Келлетт, Г. Л., Брот-Ларош, Э., Мейс, О. Дж., И Летурк, А. (2008). Всасывание сахара в кишечнике: роль GLUT2. *Ann Rev Nutr*, 28, 35-54. DOI: 10.1146 / annurev.nutr.28.061807.155518

Киши К., Такасе С. и Года Т. (1999). Повышение экспрессии гена сахаразы-изомальтазы, вызванное введением фруктозы в тонкую кишку крыс. *J Nutr Biochem*, 10 (1), 8-12.

Ламберт, К. П., Болл, Д., Лейпер, Дж. Б., и Моган, Р. Дж. (1999). Использование метода дейтериевого индикатора для отслеживания судьбы жидкостей, попавших в организм человека: влияние объема напитка, концентрации и содержания индикатора. *Exp Physiol*, 84 (2), 391-399.

Ламберт, Г. П., Ланг, Дж., Булл, А., Экерсон, Дж., Ланспа, С., и О'Брайен, Дж. (2008). Толерантность к жидкости во время бега: эффект повторных проб. *Int J Sports Med*, 29 (11), 878-882. DOI: 10.1055 / s-2008-1038620

Лейпер, Дж. Б., Броуд, Н. П., и Мозн, Р. Дж. (2001). Влияние периодических упражнений высокой интенсивности на опорожнение желудка у человека. *Med Sci Sports Exerc*, 33 (8), 1270-1278.

Лейпер, Дж. Б., Прентис, А. С., Райтсон, К., и Моган, Р. Дж. (2001). Опорожнение желудка от углеводно-электролитного напитка во время футбольного матча. *Med Sci Sports Exerc*, 33 (11), 1932-1938.

Маргольски, Р. Ф., Дайер, Дж., Кокрашвили, З., Салмон, К. С., Илегемс, Э., Дейли, К.,... Ширази-Бичи, С. П. (2007). T1R3 и густдудин в кишечных сахарах для регулирования экспрессии котранспортера Na + -глюкозы 1. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 104 (38), 15075-15080. DOI: 10.1073 / pnas.0706678104

Моран, А. В., Аль-Раммахи, М. А., Арора, Д. К., Бэтчелор, Д. Дж., Коултер, Э. А., Дейли, К.,... Ширази-Бичи, С. П. (2010). Экспрессия ко-переносчика 1 Na + / глюкозы (SGLT1) усиливается за счет добавления в рацион поросят-отъемышей искусственных подсластителей. *Br J Nutr*, 104 (5), 637-646. DOI: 10.1017 / S0007114510000917

Моран, А. В., Аль-Раммахи, М. А., Арора, Д. К., Бэтчелор, Д. Дж., Коултер, Э. А., Ионеску, К.,... Ширази-Бичи, С. П. (2010). Экспрессия ко-транспортера 1 Na + / глюкозы (SGLT1) в кишечнике поросят, отнятых от груди до различных концентраций пищевых углеводов. *Br J Nutr*, 104 (5), 647-655. DOI: 10.1017 / S0007114510000954



- Нойфер, П. Д., Янг, А. Дж., И Савка, М. Н.** (1989). Опорожнение желудка во время упражнений: последствия теплового стресса и гипогидратации. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 58 (4), 433-439.
- Пфайффер, Б., Стеллингверфф, Т., Залтас, Э., и Джеукендруп, А. Э.** (2010). Окисление твердых и жидких источников углеводов во время упражнений. *Медико-спортивные упражнения*, doi: 10.1249 / MSS.0b013e3181e0efc9
- Rehrer, N.J., Beckers, E.J., Brouns, F., ten Hoor, F., & Saris, W.H.** (1990). Влияние обезвоживания на опорожнение желудка и желудочно-кишечные расстройства во время бега. *Med Sci Sports Exerc*, 22 (6), 790-795.
- Rehrer, N.J., Beckers, E.J., Brouns, F., ten Hoor, F., & Saris, W.H.** (1990). Влияние обезвоживания на опорожнение желудка и желудочно-кишечные расстройства во время бега. *Med Sci Sports Exerc*, 22 (6), 790-795.
- Ши, Х., Саммерс, Р. В., Шедл, Х. П., Фланаган, С. В., Чанг, Р., и Гисолфи, К. В.** (1995). Влияние типа и концентрации углеводов, а также осмоляльности раствора на водопоглощение. *Медико-спортивные упражнения*, 27 (12), 1607-1615.
- Смит, Дж. У., Паско, Д. Д., Пасс, Д. Х., Руби, Б. К., Стюарт, Л. К., Бейкер, Л. Б., и Захвейя, Дж. Дж.** (2013). Криволинейная доза-ответная зависимость углеводов (0-120 г / ч (-1)) и производительности. *Med Sci Sports Exerc*, 45 (2), 336-341. DOI: 10.1249 / MSS.0b013e31827205d1
- Смит, Дж. У., Захвейя, Дж. Дж., Хорсвилл, К. А., Паско, Д. Д., Пасс, Д., Руби, Б. К. и Стюарт, Л. К.** (2010). Доказательства взаимосвязи между дозой углеводов и длительной физической нагрузкой. *Медико-спортивные упражнения*, 42 (5), 84.
- Sole, C.C. & Noakes, T.D.** (1989). Более быстрое опорожнение желудка для растворов полимеров глюкозы и фруктозы, чем для глюкозы у людей. *Eur J Appl Physiol*, 58, 605-612.
- Таката К., Касахара Т., Касахара М., Эзаки О. и Хирано Х.** (1992). Иммуногистохимическая локализация Na (+) - зависимого переносчика глюкозы в тонкой кишке крыс. *Cell Tissue Res*, 267 (1), 3-9.
- Ванденбогаерде, Т. Дж., И Хопкинс, В. Г.** (2011). Влияние острых углеводных добавок на выносливость: метаанализ. *Sports Med*, 41 (9), 773-792. DOI: 10.2165 / 11590520-000000000-00000
- Вист, Г. Э., и Мозн, Р. Дж.** (1994). Опорожнение желудка от проглоченных растворов у человека: влияние концентрации глюкозы в напитке. *Med Sci Sports Exerc*, 26 (10), 1269-1273.
- Вист, Г. Э., и Мозн, Р. Дж.** (1995). Влияние осмоляльности и содержания углеводов на скорость опорожнения желудка от жидкости у человека. *J. Physiol*, 486 (Pt 2), 523-531.
- Яу, А. М., Маклафлин, Дж., Мозн, Р. Дж., Гилмор, В., и Эванс, Г. Х.** (2014). Кратковременное добавление фруктозы к пище ускоряет опорожнение желудка от фруктозы, но не от раствора глюкозы. *Питание*, 30 (11-12), 1344-1348. DOI: 10.1016 / j.nut.2014.03.023

