

Роль углеводов во время двигательной активности (результаты исследований, воплощенные в практических рекомендациях)

Аскер Йоукендруп

АННОТАЦИЯ

Цель. Формирование системы современных представлений об относительности рационального применения углеводов во время тренировочного и соревновательного процесса спортсменов.

Методы. Анализ научной литературы и результатов собственных исследований.

Результаты. Освещены существующие сегодня основные положения и проблемы, касающиеся обоснования целесообразности углеводной поддержки тренировочного процесса у представителей разных видов спорта при тренировках различной направленности и интенсивности. С учетом метаболических критериев обоснован прием различных количеств простых углеводов (глюкозы, фруктозы) при тренировках различной продолжительности.

Заключение. Установлено, что дополнительный прием углеводов рационален не только у представителей циклических, но и ациклических видов спорта, поскольку их применение не только повышает выносливость во время тренировочных занятий, но и положительно влияет на реализацию спортивных навыков.

Ключевые слова: углеводы, глюкоза, фруктоза, двигательная активность.

ABSTRACT

Objective. Development of the system of modern concepts of relativity of the rational use of carbohydrates in athletes during training and competitive process.

Methods. Analysis of research literature and results of own investigations.

Results. The paper highlights statements and problems existing today and related to substantiation of feasibility of carbohydrate support of the training process in athletes of different sports during trainings of various orientations and intensities. In view of metabolic criteria, intake of simple carbohydrates (glucose, fructose) in various quantities is proved for trainings of different duration. **Conclusion.** It was found that additional carbohydrates intake is rational not only in cyclic, but also in acyclic sports, because their ingestion not only improves endurance during trainings, but has also positive effect on the realization of sports skills.

Key words: carbohydrates, glucose, fructose, motor activity, performance.

Введение. Общеизвестно, что углеводы и жиры – самые важные источники энергии при выполнении физической работы, но это мнение таковым было не всегда. До конца 1800-х годов считали, что самым важным субстратом энергообеспечения мышечной деятельности является белок. В начале 1900-х годов было выявлено, что энергией организм во время двигательной активности обеспечивает не белок, а углеводы [27]. В 1939 г. была опубликована статья, в которой говорилось о том, что рацион может повлиять на потребность в углеводах во время двигательной активности и потребление последних способно повысить переносимость физической нагрузки [4]. В 1960-х годах стало ясно, что важную роль в энергообеспечении играет мышечный гликоген [2], а в 1980-х годах появились первые работы, в которых было доказано повышение физической работоспособности под влиянием потребления углеводов во время двигательной активности [5, 7]. В последующем в данной области исследований существенно продвижения не наблюдалось до 2004 г., который ознаменовался несколькими крупными достижениями, связанными с выяснением значения потребления углеводов при физической нагрузке. В данной статье мы обсудим эти результаты и их влияние на рекомендации по спортивному питанию.

Постоянное появление новых данных ведет к тому, что диететические рекомендации спортсменам также претерпевают изменения, хотя в самых последних и выражено общепринятое мнение, что потребление углеводов необходимо для повышения работоспособности в двигательной активности с аэробной нагрузкой, они все же недостаточно специфичны [36]. Например, в последних указаниях Американского колледжа спортивной медицины говорится о необходимости потребления 30–60 г углеводов в час во время физической нагрузки [36], но ничего о типе двигательной активности, уровне подготовленности спортсмена и др. Означает ли это, что подобные общие рекомендации подходят для каждого – от игрока в любительский футбол до профессионального велосипедиста?

Данные исследований, полученные за последние 5–10 лет, и обобщенные на их основе представления дают возможность сформулировать более прямые и точные рекомендации для спортсменов относительно потребления углеводов. Подробное обсуждение всех данных выходит за рамки этого обзора, поскольку оно не так давно было сделано в нескольких других работах [17, 19–21, 23]. Цель нашей работы заключается в том, чтобы упорядочить накопленную информацию и преобразовать современные представления в практические рекомендации для спортсменов, специализирующихся в различных видах спорта.

Потребление углеводов во время физической нагрузки и работоспособность. Хотя точные механизмы этого явления пока не установлены, уже достаточно давно известно, что потребление углеводов во время двигательной активности способно улучшить выносливость и повысить работоспособность [18, 19]. В целом во время физической нагрузки продолжительностью более 2 ч прием углеводов с пищей предотвращает возникновение гипогликемии, способствует поддержанию на высоком уровне показателей их окисления и повышает выносливость по сравнению с приемом плацебо. Потребления углеводов в таком небольшом количестве как $20 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$ уже достаточно для положительного воздействия во время продолжительной двигательной активности [12, 28]. Ранее считалось, что для проявления эффекта потребления углеводов продолжительность выполнения физических упражнений должна быть не менее 2 ч.

Позднее стало ясно, что во время упражнений меньшей продолжительности и более высокой интенсивности (например, 1 ч при нагрузке около $75 \% \dot{V}O_{2\text{max}}$) потребление их также может повысить работоспособность. Механизмы, лежащие в основе этих изменений, принципиально отличаются. В действительности было показано, что при введении глюкозы в системный кровоток скорость ее утилизации возрастала, но это никак не влияло на работоспособность. Это является доказательством того, что повы-

шение доступности глюкозы в качестве субстрата для выполняющих работу мышц не оказывает никакого влияния на работоспособность при двигательной активности. Однако, когда участники исследования ополаскивали рот раствором углеводов, это приводило к повышению работоспособности [21], что напоминало изменения, наблюдавшиеся при их потреблении с пищей. Сегодня эти первоначальные выводы подтверждены результатами многочисленных исследований. Анализ и систематизацию этих работ можно найти в недавних публикациях [17, 19–21, 23]. Это позволяет предположить, что положительное воздействие потребления углеводов во время двигательной активности не ограничивается простым обеспечением метаболического преимущества, но также может вносить свой вклад в усиление положительного центростремительного сигнала, способного изменить физическую работоспособность [14]. Такое воздействие является специфическим для углеводов и не зависит от вкусовых ощущений [3].

Вполне вероятно, что его опосредуют рецепторы в полости рта, однако у человека они пока не обнаружены, а точная роль различных областей мозга понятна не до конца. Тем не менее было доказано, что углеводы взаимодействуют в полости рта с неустановленными рецепторами, и это может быть причиной повышения физической работоспособности [21]. Предлагаемые новые рекомендации учитывают эти экспериментальные данные.

Полученные результаты показывают, что во время физических упражнений продолжительностью от 30 мин до 1 ч не обязательно потреблять растворы углеводов в большом количестве, для повышения работоспособности достаточно полоскания

рта (табл. 1). В большинстве случаев изменения работоспособности были такими же, как и при потреблении углеводного напитка внутрь, что следует принимать во внимание, поскольку при потреблении жидкости в очень больших количествах спортсмены иногда жалуются на дискомфорт в желудочно-кишечном тракте. При большей продолжительности двигательной активности (2 ч и более) значение углеводов в качестве источника энергии возрастает, и их потребление становится необходимым для предотвращения снижения работоспособности.

Влияние смеси транспортируемых углеводов на продолжительную двигательную активность. Углеводы, потребляемые во время двигательной активности, могут утилизироваться с различной скоростью [19], однако до ставшей в 2004 г. поворотным моментом в этой сфере публикации [16] считалось, что углевод, потребляемый при физической нагрузке, независимо от его типа, может окисляться со скоростью не более $1 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$ ($60 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$) [22]. Это отражают рекомендации (см. табл. 1), в которых верхний предел потребления обычно устанавливается на уровне примерно $60 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$ при аэробной нагрузке продолжительностью более одного часа [39].

Вполне вероятно, что скорость окисления экзогенных углеводов ограничивается кишечной абсорбцией. Один из основных механизмов вторичного активного всасывания глюкозы в клетках кишечника реализуется при участии натрий-зависимого транспортного белка SGLT1 (Na^+ -глюкозный котранспортер), аллостерический центр регуляции активности которого насыщается и затем блокируется при потреблении этого углевода в количестве около $60 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$. Если глюкоза потребляется с такой скоростью и

одновременно с этим происходит потребление другого углевода (фруктозы), использующего иной котранспортер, а именно унипортер GLUT5, то можно наблюдать существенное увеличение интенсивности окисления углеводов над уровнем $1 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$ ($1,26 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$) [16]. За этим последовал ряд исследований, направленных на выяснение максимальной скорости окисления экзогенных углеводов. В этих работах использовали разнообразные типы углеводов и их сочетания, которые спортсмены потребляли с различной скоростью.

Проведенные исследования подтвердили, что потребление смеси транспортируемых углеводов приводит к увеличению интенсивности окисления (до 75 %) по сравнению с потреблением углеводов, использующих только переносчик SGLT1 – глюкозы и галактозы [18, 19]. Столь же высокая интенсивность окисления углеводов наблюдается при потреблении их не только в виде напитков, но и в виде гелей [34] или энергетических батончиков с низким содержанием жиров, белков и клетчатки [35].

В некоторых исследованиях показана связь усиления интенсивности окисления экзогенных углеводов, наблюдаемого при потреблении смесей транспортируемых углеводов с увеличением времени выполнения физических упражнений до наступления усталости и повышением работоспособности. При потреблении смеси глюкозы и фруктозы в течение продолжительной двигательной активности оценка испытываемого усилия по шкале Борга у велосипедистов может быть ниже, чем в случае потребления только глюкозы, кроме того, спортсменам легче поддерживать постоянную частоту pedalирования [25, 38]. Было также показано, что напиток, содержащий смесь глюкозы и

ТАБЛИЦА 1 – Потребление углеводов в зависимости от продолжительности тренировочного занятия

Способ потребления углеводов	Длительность нагрузки	Время использования в динамике нагрузки	Вид углеводов	Рекомендации
Небольшие количества внутрь или полоскание рта	30–75 мин	30 мин	Простые или сложные транспортные формы	Нутрициологическая тренировка кишечника настоятельно рекомендуется
Внутри $30 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$	60 мин	60 мин	Простые или сложные транспортные формы	Нутрициологическая тренировка кишечника рекомендуется
Внутри $60 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$	2–3 ч	2 ч	Простые или сложные транспортные формы	Нутрициологическая тренировка кишечника настоятельно рекомендуется
Внутри $90 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$	> 2,5 ч	> 2,5 ч	Только смесь глюкоза–фруктоза	Нутрициологическая тренировка кишечника обязательна

фруктозы, способен повышать физическую работоспособность [9]. В этом исследовании велосипедисты в течение 2 ч выполняли тест на велоэргометре с нагрузкой 54 % $\dot{V}O_{2max}$, во время занятия они потребляли углеводный напиток или плацебо, после чего им предлагали выполнить с максимальной скоростью определенный объем работы (примерно равный 60 мин педалирования с интенсивностью 75 % $\dot{V}O_{2max}$).

Потребление глюкозосодержащего напитка в количестве, эквивалентном $1,8 \text{ г} \cdot \text{мин}^{-1}$, сопровождалось повышением развиваемой мощности на 9 % (254 W против 231 W). В случае потребления смеси глюкозы и фруктозы развиваемая мощность увеличивалась еще на 8 % по сравнению с раствором только глюкозы (275 W – 254 W соответственно). Другие исследования подтвердили преимущества использования смеси глюкозы и фруктозы по сравнению с чистой глюкозой [37, 44].

Рекомендации по потреблению углеводов во время двигательной активности зависят от ее продолжительности и абсолютной интенсивности нагрузки, а также специфики вида спорта. При более низкой абсолютной интенсивности физических упражнений скорость окисления углеводов также будет ниже, поэтому их количества, предлагаемые для потребления по схеме, приведенной в таблице 1, следует соответственно уменьшить.

При тренировках на выносливость рекомендации по использованию углеводов в целом можно сформулировать следующим образом:

- рекомендованное потребление углеводов может быть достигнуто за счет приема в пищу напитков, гелей, а также твердых продуктов (батончиков) с низким содержанием жиров, белков и клетчатки, при этом выбор следует основывать на личных предпочтениях спортсмена;
- для достижения цели в плане обеспечения углеводной поддержки спортсмен может изменять состав углеводной смеси и подбирать подходящую стратегию;
- потребление углеводов должно быть сбалансировано с потреблением жидкости, основанном на потребностях спортсмена, поскольку установлено, что твердые энергетические продукты и концентрированные углеводные растворы уменьшают абсорбцию жидкости в желудочно-кишечном тракте;

- настоятельно рекомендуется заранее отработать на практике пищевую стратегию во время соревнований с целью уменьшения вероятности возникновения дискомфорта в области желудочно-кишечного тракта и повышения абсорбционной способности кишечника.

Повышение работоспособности, как правило, наблюдали в исследованиях, где изучали двигательную активность продолжительностью 2,5 ч и более, а ее проявления обнаруживали на третьем часу после начала занятия [25]. При меньшей продолжительности двигательной активности или потреблении смесей транспортируемых углеводов в количестве менее $70 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$ повышение работоспособности может быть не столь выраженным [15], однако в этих случаях выявленные эффекты сопоставимы с таковыми при использовании других источников углевода.

Зависимость работоспособности от дозы потребления углеводов при физической нагрузке. На сегодня опубликовано крайне мало работ, рассматривающих дозовую зависимость физической работоспособности от потребления углеводов во время двигательной активности с хорошо поставленным контролем. В большинстве присутствуют серьезные методологические проблемы, которые затрудняют выяснение существования такой зависимости. Вплоть до последнего времени считалось, что необходимо минимальное количество углеводов (около $20 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$, по данным одного из исследований), а в целом предполагалось, что таковой зависимости не существует [36]. Однако убедительных результатов существования дозовой зависимости между работоспособностью и количеством потребляемых углеводов в то время не было получено.

Позднее были накоплены экспериментальные данные, подтверждающие существование дозовой зависимости между скоростью потребления углеводов, интенсивностью окисления экзогенных углеводов и работоспособностью. В одном из недавних исследований была проведена оценка работоспособности при продолжительной аэробной нагрузке в случае потребления глюкозы с различной скоростью (15, 30, и $60 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$) [42]. Двенадцать спортсменов выполняли двухчасовой тест на велоэргометре с интенсивностью нагрузки 77 % пикового потребления кислорода ($\dot{V}O_{2peak}$), после чего им предлагали выполнить на время тест,

моделировавший индивидуальную гонку на 20 км. Полученные результаты засвидетельствовали существование связи между потребляемым количеством глюкозы и увеличением работоспособности. Интенсивность окисления экзогенной глюкозы повышается с увеличением скорости ее поступления в организм и, возможно, ускорение окисления экзогенных углеводов непосредственно обуславливает рост физической работоспособности.

В фундаментальном исследовании, в котором приняли участие четыре научных центра [41], также рассматривали связь между скоростью потребления углеводов и временем педалирования в тесте на велоэргометре для выяснения диапазона скорости потребления углеводов, которые повышают работоспособность. В четырех тестах с постоянной нагрузкой от средней до высокой интенсивности продолжительностью 2 ч приняли участие 51 спортсмен – велосипедисты и триатлонисты. Проводили сравнение двенадцати различных напитков (содержавших смесь глюкозы и фруктозы в соотношении 2:1), которые обеспечивали поступление углеводов в организм спортсменов с разной скоростью – от 10 до $120 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$. Во всех четырех научных центрах использовали универсальное плацебо, которое содержало искусственные вкусовые добавки и красители, но не углеводы. Напитки применяли в случайном порядке, самостоятельно определявшемся в каждом из центров (по три в каждом). Непосредственно после выполнения необходимого теста с постоянной нагрузкой участники выполняли тест, симулировавший индивидуальную гонку на 20 км. Потребление углеводов приводило к значительному повышению работоспособности, которое имело дозозависимый характер. В итоге исследователи пришли к выводу, что наибольший рост работоспособности наблюдается при потреблении углеводов со скоростью $60\text{--}80 \text{ г} \cdot \text{ч}^{-1}$. Эти результаты соответствуют потреблению оптимального количества углеводов, предложенного на основании результатов недавно проведенного метаанализа [48].

На основе упомянутых исследований можно сформулировать рекомендации по потреблению углеводов при двигательной активности большей продолжительности, которые представлены в таблице 1.

Уровень подготовленности спортсмена. Часто возникает вопрос, насколько

результаты этих исследований (часто проводимых на подготовленных или даже высококвалифицированных спортсменах) можно распространять на спортсменов низкой квалификации или нетренированных лиц. В некоторых исследованиях при сравнении скорости окисления экзогенных углеводов у тренированных спортсменов и неподготовленных людей различий не удалось обнаружить [24, 47].

Вполне вероятно, что существует абсолютная интенсивность физической нагрузки, ниже которой окисление экзогенных углеводов настолько невелико, что уровень подготовленности спортсмена перестает иметь значение. Маловероятно, что бегун, преодолевающий марафонскую дистанцию за 5 ч, нуждается в потреблении 90 г углеводов в час, поскольку это близко к общему их использованию при такой абсолютной интенсивности нагрузки или, возможно, даже превышает ее.

Влияние массы тела. Рекомендации по потреблению углеводов при физической нагрузке, представленные в этой работе, выражены в $г \cdot ч^{-1}$ и никак не учитывают массы тела занимающихся. В последнем отчете Американской ассоциации диетологии (ADA) и Американского колледжа спортивной медицины (ACSM) [36] рекомендации в отношении потребления углеводов во время двигательной активности даны в $г \cdot кг^{-1}$. Основания для этого неясны, поскольку данные о возможной корреляции между массой тела и окислением экзогенных углеводов отсутствуют [19]. Причина отсутствия корреляции между массой тела и интенсивностью окисления экзогенных углеводов, вероятно, заключается в том, что ограничивающим фактором является абсорбция углеводов, которая в значительной степени независима от массы тела. Вместе с тем способность кишечника к абсорбции углеводов может зависеть от их содержания в рационе, поскольку исследования на животных показали, что экспрессия кишечных транспортных белков может возрастать при увеличении потребления углеводов. Поскольку окисление экзогенных углеводов зависит не от общей массы тела или мышечной массы, а от поглощения и в некоторой степени — от абсолютной интенсивности нагрузки (при очень низкой абсолютной интенсивности нагрузки низкая интенсивность окисления углеводов, в целом, также может ограничивать окисление экзогенных углеводов), рекомендации

для спортсменов должны быть выражены в абсолютных значениях. Эти результаты ясно показывают, что нет никаких оснований для рекомендаций по потреблению углеводов для спортсменов из расчета на килограмм массы тела (см. табл. 1).

Индивидуальные различия в интенсивности окисления экзогенных углеводов существуют, однако они, как правило, невелики и не имеют отношения к массе тела, а скорее обусловлены способностью к абсорбции углеводов в желудочно-кишечном тракте. Последнее качество, в свою очередь, может определяться особенностями рациона спортсменов.

Подготовка желудочно-кишечного тракта. Поскольку интенсивность окисления экзогенных углеводов ограничивается скоростью их поглощения и может влиять на физическую работоспособность, одна из возможных стратегий повышения последней заключается в увеличении абсорбционной способности кишечника. Данные отдельных исследований с участием спортсменов позволяют предположить, что кишечник можно подготовить, и лица, которые регулярно потребляют углеводы или имеют высокое ежедневное их потребление, могут также обладать повышенной способностью к этому процессу. При увеличении содержания углеводов в рационе животных в кишечнике действительно может происходить стимуляция активности белков—переносчиков углеводов [11]. Подобные данные, касающиеся исследований этого вопроса у человека, все еще крайне ограничены. Одно из последних [6] было направлено на выяснение влияния изменения ежедневного потребления углеводов на интенсивность их окисления, и в частности, экзогенных углеводов. Было показано, что интенсивность их окисления повышалась после использования рациона с увеличенным содержанием углеводов ($6,5 г \cdot кг^{-1}$ массы тела в сутки, из которых $1,5 г \cdot кг^{-1}$ массы тела представляло преимущественно дополнительное углеводное питание во время тренировочных занятий) в течение 28 дней, по сравнению с контрольной группой (получавшей углеводы в количестве $5 г \cdot кг^{-1}$ массы тела в сутки). Результаты этого исследования подтверждают возможность адаптации кишечника, что можно использовать в практической деятельности как метод увеличения интенсивности окисления экзогенных углеводов. Возникло

предположение, что это может иметь весьма актуальное значение для спортсменов в видах спорта, требующих выносливости, а также послужить основой для преодоления двухчасового барьера в состязаниях на марафонской дистанции [43]. Несмотря на необходимость проведения дополнительных исследований, рекомендуется использовать стратегию потребления углеводов на практике во время тренировок, и хотя бы часть занятий проводить на фоне рациона, содержащего относительно высокие количества углеводов.

Потребление углеводов в реальных условиях. Изучению потребления углеводов спортсменами во время соревнований и его соответствия существующим рекомендациям посвящено сравнительно небольшое количество работ. В одной из них [26] было установлено среднюю скорость утилизации углеводов во время преодоления дистанции соревнований по Ironman Triathlon (включает плавание 2,4 мили, велогонку 112 миль и марафон 26,219 мили, не санкционирован Международным союзом триатлона), что составляет $1,0 г \cdot кг^{-1}$ массы тела в час у женщин и $1,1 г \cdot кг^{-1}$ массы тела в час у мужчин. Спортсмены достигали такого уровня утилизации углеводов за счет потребления очень больших их количеств во время велосипедного заезда (примерно $1,5 г \cdot кг^{-1}$ массы тела в час). Большую часть углеводов велосипедисты потребляли во время велогонки, когда их количество было почти в три раза больше, чем во время забега. У мужчин-триатлонистов потребление углеводов положительно коррелировало со временем прохождения дистанции, однако у женщин подобной связи выявить не удалось. Углубленное исследование в видах спорта, требующих выносливости [32], засвидетельствовало значительные различия в количестве углеводов, потребляемых спортсменами во время соревнований и в период между ними, с самым высоким уровнем потребления в велогонках и соревнованиях по триатлону и самым низким — в марафонах. Было также установлено, что в соревнованиях Ironman Triathlon потребление углеводов прямо связано со временем преодоления дистанции — высокое потребление коррелировало с повышением работоспособности. Эти результаты согласуются с данными последних исследований дозовой зависимости между количеством потребляемых углеводов и физической работоспособностью [40, 41].

Рекомендации для спортсменов, занимающихся видами спорта, требующими выносливости. Было неоднократно показано, что у спортсменов, занимающихся велоспортом, углеводное питание никак не влияет на расщепление мышечного гликогена. В то же время, были высказаны предположения, что у бегунов под влиянием потребления углеводов расщепление гликогена может уменьшаться, в особенности в мышечных волокнах I типа [46]. Таким образом, потребление углеводов приводит к повышению работоспособности в велоспорте и в беге, хотя механизмы такого воздействия не обязательно одинаковы. Эта проблема более подробно обсуждается в обзоре [45]. Окисление экзогенных углеводов у велосипедистов и бегунов, по-видимому, не отличается [33], поэтому и рекомендации для них будут однотипными.

Виды спорта с ациклической нагрузкой и требующие сложнокоординационных навыков. Подавляющее большинство исследований проведено с участием спортсменов – представителей циклических видов спорта аэробной направленности. В большинстве командных видов спорта двигательная активность имеет ациклический характер, когда высокоинтенсивная нагрузка чередуется с периодами восстановления. Кроме того, работоспособность в этих видах спорта часто зависит не только от способности поддерживать скорость или мощность, но и от других факторов, таких как ловкость, координация, взрывная сила, двигательные навыки, способности к принятию решений. Тем не менее было показано, что потребление углеводов во время двигательной активности повышает выносливость и у спортсменов в ациклических видах спорта. В большом количестве исследований показано, что потребление углеводов во время бега ациклического характера способно отсрочить наступление утомления и увеличить время до возникновения полного изнеможения [10, 13, 29–31].

Не так давно в оценку работоспособности стали включать и тестирование двигательных навыков. Был разработан [8] протокол, моделирующий 90-минутный футбольный матч, который включает оценку таких навыков как ловкость, дриблинг, точность ударов по мячу ногой, точность ударов головой. Футболисты в течение 90 мин выполняли упражнения ациклического характера, имитирующие движения во время реальной игры. На протяжении такого занятия через равные промежутки времени проводили оценку качества выполнения указанных выше навыков. Было установлено, что потребление углеводов способствует увеличению ловкости, эффективности дриблинга и точности ударов по мячу ногами, но не головой. Другие исследователи также обнаружили подобное действие углеводов [1]. Хотя в подобных исследованиях потребление углеводов обычно сопровождалось улучшением реализации ряда оцениваемых навыков, механизмы его неизвестны и подробно не изучались.

Создается впечатление, что потребление углевода во время занятий разными видами спорта, требующими сложнокоординационных навыков, способно не только повышать выносливость, но и благоприятно влиять на реализацию спортивных навыков, особенно под конец игры. Практической проблемой здесь часто является поиск возможностей для использования углеводного питания во время игры в пределах, определяемых правилами данного вида спорта.

Заключение. В последние годы произошли серьезные изменения в понимании роли углеводов во время двигательной активности, благодаря чему были разработаны более специфичные и индивидуализированные рекомендации их применения во время физической нагрузки. Предлагаемые рекомендации учитывают продолжительность (и интенсивность) физической нагрузки и не ограничиваются указаниями в отношении необходимого количества углеводов, но также определяют их тип. Представленные

в этой статье рекомендации в большинстве основаны на данных обследований подготовленных высококвалифицированных спортсменов. При более низкой абсолютной интенсивности физических упражнений скорость окисления углеводов также снижается, поэтому количества, предлагаемые для потребления, следует соответственно уменьшить. Рекомендованное потребление углеводов может быть достигнуто за счет напитков, гелей, а также твердых продуктов (батончиков) с низким содержанием жиров, белков и клетчатки, при этом выбор должен определяться личными предпочтениями спортсмена. Для достижения цели обеспечения углеводной поддержки спортсмен может изменять состав углеводной смеси и подбирать подходящую стратегию. Вместе с тем потребление углеводов должно быть сбалансировано с употреблением жидкости, поскольку установлено, что твердые энергетические продукты и концентрированные углеводные растворы уменьшают ее поглощение. Хотя замедление эвакуации содержимого желудка и абсорбции можно частично предотвратить благодаря использованию смесей транспортируемых углеводов, и поэтому спортсмен должен учитывать эти проблемы при планировании своего питания. Несмотря на потребность в дополнительных исследованиях, настоятельно рекомендуется заранее отработать на практике стратегию питания во время соревнований для уменьшения вероятности возникновения дискомфорта в области желудочно-кишечного тракта и повышения абсорбционной способности кишечника.

Следует отметить, что большинство результатов были получены в исследованиях с участием бегунов и велосипедистов, поэтому для выяснения влияния и механизмов действия принимаемых углеводов на компоненты спортивного мастерства в командных видах спорта с ациклической нагрузкой необходимо дополнительное изучение данного вопроса.

■ Литература

1. Ali, A., Williams, C., Nicholas, C. W., & Foskett, A. (2007). The influence of carbohydrate-electrolyte ingestion on soccer skill performance. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 39, 1969–1976. doi:10.1249/mss.0b013e31814fb3e3
2. Bergstrom, J., & Hultman E. (1966). Muscle glycogen synthesis after exercise: An enhancing factor localized in muscle cells in man. *Nature*, 210, 309–310. dx.doi.org/10.1038/210309a0
3. Chambers, E. S., Bridge, M. W., & Jones, D. A. (2009). Carbohydrate sensing in the human mouth: effects on exercise performance and brain activity. *The Journal of Physiology*, 587, 1779–1794. doi:10.1113/jphysiol.2008.164285
4. Christensen, E. H., & Hansen, O. (1939). Arbeitsfähigkeit und Ernährung. *Skandinavisches Archiv Fur Physiologie*, 81, 160–171. doi:10.1111/j.1748-1716.1939.tb01320.x
5. Coggan, A. R., & Coyle, E. F. (1987). Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *Journal of Applied Physiology*, 63, 2388–2395.
6. Cox, G. R., Clark, S. A., Cox, A. J., Halson, S. L., Hargreaves, M., Hawley, ... Burke, L. M. (2010). Daily training with high carbohydrate availability increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance cycling. *Journal of Applied Physiology*, 109, 126–134. doi:10.1152/jappphysiol.00950.2009

7. Coyle, E. F., Hagberg, J. M., Hurlley, B. F., Martin, W. H., Ehsani, A. A., & Holloszy, J. O. (1983). Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise. *Journal of Applied Physiology*, 55, 230-235.
8. Currell, K., Conway, S., & Jeukendrup, A. E. (2009). Carbohydrate ingestion improves performance of a new reliable test of soccer performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19, 34-46.
9. Currell, K., & Jeukendrup, A. E. (2008). Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40, 275-281. doi:10.1249/mss.0b013e31815ad19
10. Davison, G. W., McClean, C., Brown, J., Madigan, S., Gamble, D., Trinick, T., & Duly, E. (2008). The effects of ingesting a carbohydrate-electrolyte beverage 15 minutes prior to high-intensity exercise performance. *Research in Sports Medicine*, 16, 155-166. doi:10.1080/15438620802103155
11. Ferraris, R. P. (2001). Dietary and developmental regulation of intestinal sugar transport. *Biochemical Journal*, 360, 265-276. doi:10.1042/0264-6021:3600265
12. Fielding, R. A., Costill, D. L., Fink, W. J., King, D. S., Hargreaves, M., & Kovaleski, J. E. (1985). Effect of carbohydrate feedings frequencies and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 17, 472-476. doi:10.1249/00005768-198508000-00012
13. Foskett, A., Williams, C., Boobis, L., & Tsintzas, K. (2008). Carbohydrate availability and muscle energy metabolism during intermittent running. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 40, 96-103. doi:10.1249/mss.0b013e3181586b2c
14. Gant, N., Steinar, C. M., & Byblow, W. D. (2010). Carbohydrate in the mouth immediately facilitates motor output. *Brain Research*, 1350, 151-158. doi:10.1016/j.brainres.2010.04.004
15. Hulston, C. J., Wallis, G. A., & Jeukendrup, A. E. (2009). Exogenous CHO oxidation with glucose plus fructose intake during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41, 357-363. doi:10.1249/MSS.0b013e3181857ee6
16. Jentjens, R. L., Moseley, L., Waring, R. H., Harding, L. K., & Jeukendrup, A. E. (2004). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 96, 1277-1284. doi:10.1152/jappphysiol.00974.2003
17. Jeukendrup, A. E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, 20, 669-677. doi:10.1016/j.nut.2004.04.017
18. Jeukendrup, A. E. (2008). Carbohydrate feeding during exercise. *European Journal of Sport Science*, 8, 77-86.
19. Jeukendrup, A. E. (2010). Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 13, 452-457. doi:10.1097/MCO.0b013e328339de9f
20. Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *Journal of Sports Sciences*, 29(Suppl 1), S91-99. doi:10.1080/02640414.2011.610348
21. Jeukendrup, A. E., & Chambers, E. S. (2010). Oral carbohydrate sensing and exercise performance. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 13, 447-451. doi:10.1097/MCO.0b013e328339de83
22. Jeukendrup, A. E., & Jentjens, R. (2000). Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: Current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Medicine*, 29, 407-424. doi:10.2165/00007256-200029060-00004
23. Jeukendrup, A. E., & McCloughlin, J. (2011). Carbohydrate ingestion during exercise: effects on performance, training adaptations and trainability of the gut. *Nestle Nutrition Institute Workshop Series*, 69, 1-12; discussion 13-17. doi:10.1152/jappphysiol.00974.2003
24. Jeukendrup, A. E., Mensink, M., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. (1997). Exogenous glucose oxidation during exercise in endurance-trained and untrained subjects. *Journal of Applied Physiology*, 82, 835-840.
25. Jeukendrup, A. E., Moseley, L., Mainwaring, G. I., Samuels, S., Perry, S., & Mann, C. H. (2006). Exogenous carbohydrate oxidation during ultraendurance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1134-1141. doi:10.1152/jappphysiol.00981.2004
26. Kimber, N. E., Ross, J. J., Mason, S. L., & Speedy, D. B. (2002). Energy balance during an ironman triathlon in male and female triathletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 12, 47-62.
27. Krogh, A., & Lindhard, J. (1920). The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy. *Biochemical Journal*, 14, 290-363.
28. Maughan, R. J., Bethell, L. R., & Leiper, J. B. (1996). Effects of ingested fluids on exercise capacity and on cardiovascular and metabolic responses to prolonged exercise in man. *Experimental Physiology*, 81, 847-859.
29. Nicholas, C. W., Nuttall, F. E., & Williams, C. (2000). The Loughborough Intermittent Shuttle Test: a field test that simulates the activity pattern of soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18, 97-104. doi:10.1080/026404100365162
30. Nicholas, C. W., Williams, C., Lakomy, H. K., Phillips, G., & Nowitz, A. (1995). Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution on endurance capacity during intermittent, high intensity shuttle running. *Journal of Sports Sciences*, 13, 283-290. doi:10.1080/02640419508732241
31. Patterson, S. D., & Gray, S. C. (2007). Carbohydrate-gel supplementation and endurance performance during intermittent high-intensity shuttle running. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 17, 445-455.
32. Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Hodgson, A. B., Randell, R., Poettgen, K., Res, P., & Jeukendrup, A. E. (2012). Nutritional intake and gastrointestinal problems during competitive endurance events. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 44(2), 344-351. doi:10.1249/MSS.0b013e31822dc809
33. Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Zaltas, E., Hodgson, A. B., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrate oxidation from a drink during running compared with cycling exercise. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 43, 327-334. doi:10.1249/MSS.0b013e3181ebc488
34. Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Zaltas, E., & Jeukendrup, A. E. (2010a). CHO oxidation from a CHO gel compared with a drink during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 2038-2045. doi:10.1249/MSS.0b013e31822dc809
35. Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Zaltas, E., & Jeukendrup, A. E. (2010b). Oxidation of solid versus liquid CHO sources during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 2030-2037. doi:10.1249/MSS.0b013e3181e0efc9
36. Rodriguez, N. R., Di Marco, N. M., & Langley, S. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41, 709-731. doi:10.1249/MSS.0b013e3181890eb86
37. Rowlands, D. S., Swift, M., Ros, M., & Green, J. G. (2012). Composite versus single transportable carbohydrate solution enhances race and laboratory cycling performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37, 425-436. doi:10.1139/h2012-013
38. Rowlands, D. S., Thorburn, M. S., Thorp, R. M., Broadbent, S., & Shi, X. (2008). Effect of graded fructose coingestion with maltodextrin on exogenous 14C-fructose and 13C-glucose oxidation efficiency and high-intensity cycling performance. *Journal of Applied Physiology*, 104, 1709-1719. doi:10.1152/jappphysiol.00878.2007
39. Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39, 377-390. doi:10.1249/mss.0b013e31802ca597
40. Smith, J. W., Pascoe, D. D., Passe, D. H., Ruby, B. C., Stewart, L. K., Baker, L. B., & Zachwieja, J. J. (2013). Curvilinear Dose-Response Relationship of Carbohydrate (0-120 g·h⁻¹) and Performance. *Medicine & Science in Sport & Exercise*, 45(2):336-4. doi:10.1249/MSS.0b013e31827205d1
41. Smith, J. W., Zachwieja, J. J., Horswill, C. A., Pascoe, D. D., Passe, D., Ruby, B. C., & Stewart, L. K. (2010). Evidence of a Carbohydrate Dose and Prolonged Exercise Performance Relationship. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 84. doi:10.1249/01.MSS.0000385615.40977.c3
42. Smith, J. W., Zachwieja, J. J., Peronnet, F., Passe, D. H., Massicotte, D., Lavoie, C., & Pascoe, D. D. (2010). Fuel selection and cycling endurance performance with ingestion of [13C] glucose: evidence for a carbohydrate dose response. *Journal of Applied Physiology*, 108, 1520-1529. doi:10.1152/jappphysiol.91394.2008
43. Stellingwerff, T., & Jeukendrup, A. E. (2011). Authors reply to Viewpoint by Joyner et al. entitled "The Two-Hour Marathon: Who and When?" *Journal of Applied Physiology*, 110, 278-293. doi:10.1152/jappphysiol.01259.2010
44. Triplett, D., Doyle, J. A., Rupp, J. C., & Benardot, D. (2010). An isocaloric glucose-fructose beverage's effect on simulated 100-km cycling performance compared with a glucose-only beverage. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20, 122-131.
45. Tsintzas, O. K., & Williams, C. (1998). Human muscle glycogen metabolism during exercise: effect of carbohydrate supplementation. *Sports Medicine*, 25, 7-23. doi:10.2165/00007256-199825010-00002
46. Tsintzas, O. K., Williams, C., Boobis, L., & Greenhaff, P. (1995). Carbohydrate ingestion and glycogen utilisation in different muscle fibre types in man. *The Journal of Physiology*, 489, 243-250.
47. Van Loon, L. J., Jeukendrup, A. E., Saris, W. H., & Wagenmakers, A. J. (1999). Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. *Journal of Applied Physiology*, 87, 1413-1420.
48. Vandenbogaerde, T. J., & Hopkins, W. G. (2010). Monitoring acute effects on athletic performance with mixed linear modeling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 1339-1344.

Институт спортивных наук Гаторейд, Баррингтон, Иллинойс, США
Школа наук о спорте и двигательной активности
Университет Бирмингема, Эджбастон, Бирмингем, Великобритания
a.e.jeukendrup@bham.ac.uk

Поступила 06.03.2014