

Article de revisió / Review Article

Carbohydrate during exercise: research of last 10 years turned into new recommendations

ASKER JEUKENDRUP

Gatorade Sports Science Institute (Barrington, IL - USA)
School of Sport and Exercise Sciences
University of Birmingham (Edgbaston, Birmingham - UK)

Abstract

There have been significant changes in the understanding of the role of carbohydrate during exercise in recent years and this allows for more specific and more individualised advice with regards to carbohydrate ingestion during exercise. The new guidelines proposed take into account the duration (and intensity) of exercise and advice is not restricted to the amount of carbohydrate, it also gives direction with respect to the type of carbohydrate. The recommended carbohydrate intake can be achieved by consuming drinks, gels of low fat, low protein and low fibre solid foods (bars) and selection should be determined by personal preference. It must be noted that most studies are based on findings in runners and cyclist and more work is needed to establish the effects and underlying mechanisms of carbohydrate ingestion on skill components in intermittent team sports.

Keywords: *carbohydrates ingestion, exercise, performance, glucose, fructose*

Introduction

We are all aware that carbohydrates and fats are the most important fuels during exercise. This has not always been the case. Till the late 1800s it was believed that protein was the most important

Els carbohidrats durant l'exercici: la recerca dels darrers 10 anys. Noves recomanacions

ASKER JEUKENDRUP

Institut Gatorade de Ciències de l'Esport (Barrington, IL - USA)
Facultat de Ciències de l'Esport i l'Exercici
University of Birmingham (Edgbaston, Birmingham - UK)

Resum

Durant els darrers anys s'han produït canvis significatius en la manera d'entendre el paper que juguen els carbohidrats durant l'exercici, i això permet realitzar un assessorament més específic i més individualitzat pel que fa a la ingestió de carbohidrats durant l'exercici. Les noves directrius proposades tenen en compte la durada (i la intensitat) de l'exercici i l'assessorament no es limita a la quantitat de carbohidrats, sinó que també en proposa el tipus. La ingesta recomanada de carbohidrats es pot assolir consumint begudes, gels amb pocs greixos o aliments sòlids baixos en proteïnes i en fibra (barretes) i l'elecció s'ha de basar en les preferències personals. Cal tenir en compte que la majoria d'estudis es basen en descobriments realitzats amb corredors i ciclistes, per la qual cosa cal investigar més per establir els efectes i els mecanismes subjacents de la ingestió de carbohidrats en els components d'habilitat d'esports intermitents d'equip.

Paraules clau: ingestió de carbohidrats, exercici, rendiment, glucosa, fructosa

Introducció

Tots sabem que els carbohidrats i els greixos són els combustibles més importants durant l'exercici. Però no sempre ha estat així. Fins a finals del segle XIX es creia que les proteïnes eren la font més important d'energia

source of energy for muscle. In the early 1900s it was discovered that not protein but carbohydrate was an important fuel for exercise (Krogh & Lindhard, 1920). In 1939 a paper was published that showed that carbohydrate use during exercise could be influenced by diet and that this could improve exercise tolerance (Christensen & Hansen, 1939). In the 1960s it became clear that muscle glycogen played a significant role (Bergstrom & Hultman, 1966) and in the 1980s the first studies showed that carbohydrate ingestion during exercise improved exercise capacity (Coggan & Coyle, 1987; Coyle et al., 1983). In the years that followed the field did not advance much until 2004, which marked the beginning of a series of major breakthroughs with respect to carbohydrate feeding during exercise. These breakthroughs and their effects on sports nutrition guidelines will be discussed in this review article.

As new information became available over time, recommendation for athletes evolved as well. Although on most recent guidelines, it is generally accepted that carbohydrate intake is important to optimise endurance performance, recommendations are not very specific (Rodríguez, Di Marco, & Langley, 2009). For example, the most recent guidelines by the American College of Sports Medicine state that a carbohydrate intake of 30-60 grams per hour is recommended during exercise (Rodríguez et al.), but does not specify the type of activity, the level of athlete etc. Does this mean that these general recommendations are appropriate for everyone from recreational football player to professional cyclist?

With the evidence from studies and new insights obtained in the last 5-10 years it is possible to provide much more prescriptive and precise advice to athletes. It is beyond the scope of this review to discuss all the underlying evidence in great detail, as this has been done in several other recent reviews (Jeukendrup, 2004, 2010, 2011; Jeukendrup & Chambers, 2010; Jeukendrup & McLaughlin, 2011), but the purpose of this review is to bring all the different pieces of information together and translate our current understanding into practical guidelines for athletes competing in different events.

per al múscul. A principis del segle xx es va descobrir que el combustible més important per a l'exercici no eren les proteïnes, sinó els carbohidrats (Krogh & Lindhard, 1920). El 1939 es va publicar un article que demostrava que l'ús de carbohidrats durant l'exercici podia ser influït per la dieta i que aquest fet podria millorar la tolerància a l'exercici (Christensen & Hansen, 1939). A la dècada dels 60 va quedar clar que el glicogen del múscul tenia un paper important (Bergstrom & Hultman, 1966) i, a la dècada dels 80, uns primers estudis van demostrar que la ingestió de carbohidrats durant l'exercici en millorava la capacitat (Coggan & Coyle, 1987; Coyle et al., 1983). Durant els anys següents no hi va haver gaires avenços en aquest camp, fins al 2004, que va marcar el començament d'una sèrie de descobriments importants respecte de la ingestió de carbohidrats durant l'exercici. Aquests descobriments i els seus efectes sobre les directrius de la nutrició en l'esport són els que es tractaran en aquest article de revisió.

A mesura que va anar apareixent nova informació, les recomanacions per als atletes també van evolucionar. Tot i que en les directrius més recents s'accepta, generalment, que la ingestió de carbohidrats és important per optimitzar la resistència, les recomanacions no són gaire específiques (Rodríguez, Di Marco, & Langley, 2009). Per exemple, les directrius més recents de l'American College of Sports Medicine recomanen una ingesta de carbohidrats de 30-60 grams per hora durant l'exercici (Rodríguez et al.), però no especifiquen el tipus d'activitat, el nivell de l'atleta, etc. ¿Representa això que aquestes recomanacions generals són adients per a tothom, tant si es tracta d'un jugador de futbol aficionat o d'un ciclista professional?

Amb les proves obtingudes d'estudis i els nous descobriments realitzats en els darrers 5-10 anys, és possible oferir un assessorament molt més prescriptiu i precís als atletes. La discussió en detall de totes les proves roman fora de l'abast d'aquest article, perquè això ja s'ha fet en altres articles recents (Jeukendrup, 2004, 2010, 2011; Jeukendrup & Chambers, 2010; Jeukendrup & McLaughlin, 2011). L'objectiu d'aquest article de revisió és reunir tota la informació i transformar la nostra comprensió actual en directrius pràctiques per als atletes que competeixen en diferents proves.

Carbohydrate ingestion during exercise and performance

Although the exact mechanisms are still not completely understood, it has been known for some time that carbohydrate ingestion during exercise can increase exercise capacity and improve exercise performance (for reviews see Jeukendrup, 2008, 2010). In general during exercise longer than 2 hours, carbohydrate feeding will prevent hypoglycaemia, will maintain high rates of carbohydrate oxidation and increase endurance capacity compared with placebo ingestion. As little as 20 g/h carbohydrate is already sufficient to observe a performance benefit during prolonged exercise (Fielding et al., 1985; Maughan, Bethell, & Leiper, 1996). It was believed that the exercise duration had to be around 2h or longer for the carbohydrate feeding to be effective.

However, more recently, it has become clear that also during shorter duration exercise of higher intensity (for example 1h around 75%VO₂max), carbohydrate ingestion during exercise can improve performance. The mechanism behind these performance improvements is completely different. In fact it was demonstrated that when glucose was infused into the systemic circulation, this glucose was taken up at high rates but no performance effect was found. This provides evidence that increasing glucose availability, as a substrate to the working muscle, has no effect during this type of activity. Interestingly, however, when subjects rinsed their mouth with a carbohydrate solution this resulted in performance improvements (Jeukendrup & Chambers, 2010) and these were similar to the improvements seen with carbohydrate ingestion. There are numerous studies now that confirm these initial findings. These studies are reviewed in several recent papers reviews (Jeukendrup, 2004, 2010, 2011; Jeukendrup & Chambers, 2010; Jeukendrup & McLaughlin, 2011). This would suggest that the beneficial effects of carbohydrate feeding during exercise are not confined to its conventional metabolic advantage but may also contribute to a more positive afferent signal capable of modifying motor output (Gant, Stinear, & Byblow, 2010). These effects

Ingestió de carbohidrats durant l'exercici i el rendiment

Tot i que encara no s'entenen totalment els mecanismes exactes, ja fa un cert temps que se sap que la ingestió de carbohidrats durant l'exercici pot augmentar-ne la capacitat i millorar-ne el rendiment (per consultar-ne revisions, vegeu Jeukendrup, 2008, 2010). En general, durant un exercici de més de 2 hores de durada, la ingestió de carbohidrats evita la hipoglucèmia, manté uns nivells elevats d'oxidació dels carbohidrats i augmenta la capacitat de resistència en comparació amb la ingestió de placebos. Una quantitat de 20 g/h de carbohidrats és suficient per observar beneficis en el rendiment durant un exercici prolongat (Fielding et al., 1985; Maughan, Bethell, & Leiper, 1996). Es creia que la durada de l'exercici havia de ser d'almenys 2 hores o més perquè la ingestió de carbohidrats fos efectiva.

No obstant això, recentment ha quedat clar que, també durant l'exercici d'alta intensitat i durada més curta (per exemple, 1 h al voltant del 75 % VO₂ màx), la ingestió de carbohidrats pot millorar-ne el rendiment. El mecanisme causant d'aquestes millores de rendiment és totalment diferent. De fet, es va demostrar que quan s'introdueix glucosa en la circulació sistèmica, aquesta glucosa s'absorbeix en nivells elevats, però no es detecta cap efecte sobre el rendiment. Això ens proporciona proves del fet que augmentar la disponibilitat de glucosa, com a substrat per al múscul, no té cap efecte durant aquest tipus d'activitat. No obstant això, resulta interessant que quan els subjectes van glopejar una solució de carbohidrats, el seu rendiment va millorar (Jeukendrup & Chambers, 2010), i aquestes millores van ser similars a les observades amb la ingestió de carbohidrats. Actualment, hi ha diferents estudis que confirmen aquests descobriments inicials. Aquests treballs es revisen en diferents articles recents (Jeukendrup, 2004, 2010, 2011; Jeukendrup & Chambers, 2010; Jeukendrup & McLaughlin, 2011). Això suggereix que els efectes beneficiosos de la ingestió de carbohidrats durant l'exercici no es limiten als seus avantatges metabòlics convencionals, sinó que també poden contribuir a un senyal aferent més positiu, capaç de modificar la resposta motora (Gant, Stinear, & Byblow, 2010). Aquests efectes són específics dels carbohidrats i són

are specific to carbohydrate and are independent of taste (Chambers, Bridge, & Jones, 2009).

It is likely that receptors in the oral cavity mediate these effects but such receptors have not yet been identified in humans and the exact role of various brain areas is not clearly understood. However, it has been convincingly demonstrated that carbohydrate is detected in oral cavity by unidentified receptors and this can be linked to improvements in exercise performance (for review see Jeukendrup & Chambers, 2010). New guidelines suggested here take these findings into account (Figure 1).

Practical implications of the mouth rinse studies

These results suggest that it is not necessary to ingest large amounts of carbohydrate during exercise lasting approximately 30 min to 1 hour and a mouth rinse with carbohydrate may be sufficient to get a performance benefit (Figure 1). In most conditions the performance effects with the mouth rinse were similar to ingesting the carbohydrate drink, so there does not seem to be a disadvantage of consuming the drink, although occasionally athletes may complain of gastro-intestinal distress when consuming larger amounts. When the exercise is more prolonged (2h or more), carbohydrate becomes a very important fuel and to prevent a decrease in performance it is essential to ingest carbohydrate. As will be discussed below, larger amounts of carbohydrate may be required for more prolonged exercise.

Prolonged exercise and multiple transportable carbohydrates

Different carbohydrates ingested during exercise may be utilised at different rates (Jeukendrup, 2010) but until a landmark publication in 2004 (Jentjens, Moseley, Waring, Harding, & Jeukendrup, 2004) it was believed that carbohydrate ingested during exercise could only be oxidised at a rate no higher than 1 g/min (60 g/h)

independents del gust (Chambers, Bridge, & Jones, 2009).

És probable que els receptors de la cavitat oral influeixin en aquests efectes, però aquests receptors encara no han estat identificats en humans i el paper exacte de diferents zones del cervell encara no s'entén clarament. No obstant això, s'ha demostrat de manera convincent que els carbohidrats es detecten a la cavitat oral mitjançant receptors no identificats. Aquest fet es pot relacionar amb les millores en el rendiment durant l'exercici (per consultar-ne estudis, vegeu Jeukendrup & Chambers, 2010). Les noves directrius que es proposen en aquest article tenen en compte aquests descobriments (*figura 1*).

Implicacions pràctiques dels estudis de glopeig

Aquests resultats suggereixen que no cal ingerir grans quantitats de carbohidrats durant un exercici d'aproximadament 30 minuts a 1 hora de durada, sinó que glopejar carbohidrats pot ser suficient per millorar el rendiment (*figura 1*). En la majoria de situacions, els efectes sobre el rendiment amb el glopeig van ser similars als de la ingestió d'una beguda amb carbohidrats, per la qual cosa no sembla que hi hagi cap desavantatge en consumir la beguda, tot i que a vegades els atletes es poden queixar de molèsties gastrointestinals quan en consumeixen grans quantitats. Quan l'exercici és més prolongat (2 hores o més), els carbohidrats esdevenen un combustible molt important i, per evitar una disminució en el rendiment, és essencial ingerir-ne. Tal com tractarem més endavant, és possible que calguin grans quantitats de carbohidrats a l'hora de realitzar un exercici més prolongat.

Exercici prolongat i transport múltiple de carbohidrats

Diferents tipus de carbohidrats ingerits durant l'exercici poden ser utilitzats a diferents nivells (Jeukendrup, 2010), però fins que es va publicar un article de referència el 2004 (Jentjens, Moseley, Waring, Harding, & Jeukendrup, 2004), es creia que els carbohidrats ingerits durant l'exercici només es podien oxidar a una taxa no superior a 1 g/min (60 g/h), independentment del

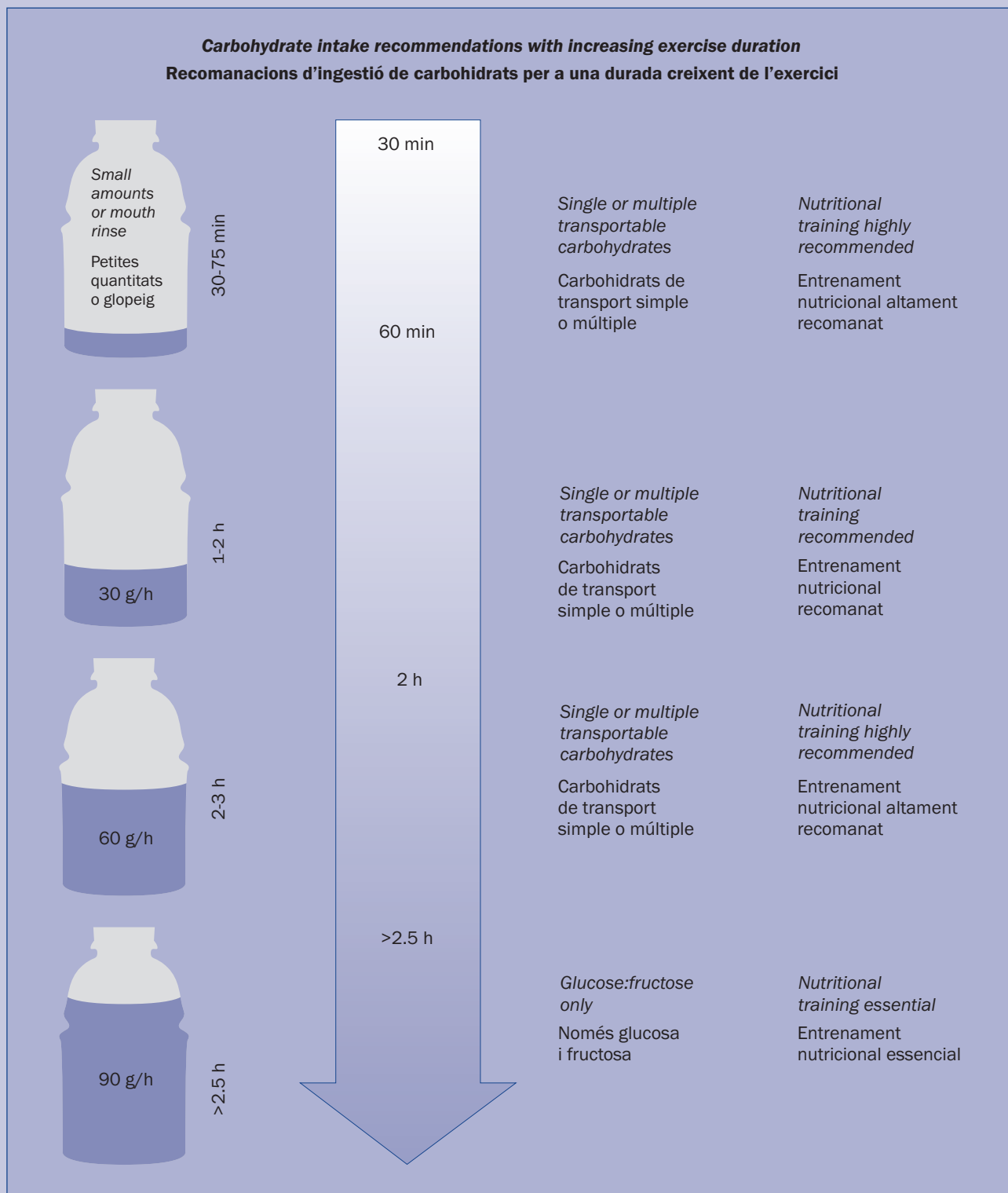


Figure 1. Carbohydrate intake recommendations during exercise for exercise of different durations. These values are for high level athletes and should adjusted downwards for aspiring athletes

Figura 1. Recomanacions d'ingestió de carbohidrats durant l'exercici per a exercicis de diferents durades. Aquests valors estan pensats per a atletes d'alt nivell i s'han d'ajustar a la baixa per a atletes aficionats

independent of the type of carbohydrate (Jeukendrup & Jentjens, 2000). This is reflected in guidelines which typically recommend an upper limit of intake around 60 grams of carbohydrate per hour during endurance exercise (>1h) (Sawka et al., 2007).

It appears that exogenous carbohydrate oxidation is limited by the intestinal absorption of carbohydrates. It is believed that glucose uses a sodium dependent transporter SGLT1 for absorption, which becomes saturated at a carbohydrate intake around 60 grams per hour. When glucose is ingested at this rate and another carbohydrate (fructose) that uses a different transporter is ingested simultaneously, oxidation rates that were well above 1 g/min (1.26 g/min) (Jentjens et al., 2004) can be observed. A series of studies followed in an attempt to work out the maximal rate of exogenous carbohydrate oxidation. In these studies the rate of carbohydrate ingestion was varied and the types and combinations of carbohydrates varied. All studies confirmed that multiple transportable carbohydrates resulted in (up to 75%) higher oxidation rates than carbohydrates that use the SGLT1 transporter only (for reviews see Jeukendrup, 2008, 2010). Interestingly such high oxidation rates could not only be achieved with carbohydrate ingested in a beverage but also as a gel (Pfeiffer, Stellingwerff, Zaltas, & Jeukendrup, 2010a) or a low fat, low protein, low fibre energy bar (Pfeiffer, Stellingwerff, Zaltas, & Jeukendrup, 2010b).

There are several studies that link the increased exogenous carbohydrate oxidation rates observed with multiple transportable carbohydrates to delayed fatigue and improved exercise performance. Ratings of perceived exertion (RPE) during prolonged exercise may be lower with a mixture of glucose and fructose than with glucose alone and cadence might be better maintained in cyclists (Jeukendrup et al., 2006; Rowlands, Thorburn, Thorp, Broadbent, & Shi, 2008). It was also demonstrated that a glucose:fructose drink could improve exercise performance (Currell & Jeukendrup, 2008). Cyclists exercised for 2 hours on a cycle ergometer at 54%VO₂max during which they ingested either a carbohydrate drink or placebo and were then asked to perform a

tipus de carbohidrat (Jeukendrup & Jentjens, 2000). Aquest fet es reflecteix en directrius que normalment recomanen un límit màxim d'ingestió d'uns 60 grams de carbohidrats per hora durant un exercici de resistència (>1 h) (Sawka et al., 2007).

Sembla que l'oxidació exògena de carbohidrats es veu limitada per l'absorció intestinal dels carbohidrats. Es creu que la glucosa utilitza un transportador SGLT1 dependent del sodi per a l'absorció, que se satura amb una ingestió de carbohidrats d'uns 60 grams per hora. Quan s'ingereix aquest nivell de glucosa i un altre carbohidrat (fructosa) que utilitzi un transportador diferent de manera simultània, es poden observar taxes d'oxidació ben superiors a 1 g/min (1,26 g/min) (Jentjens et al., 2004). Es van publicar tot un seguit d'estudis amb l'objectiu de descobrir la taxa màxima d'oxidació exògena de carbohidrats. En aquests, la taxa d'ingestió de carbohidrats era variada i els tipus i les seves combinacions també ho eren. Tots els estudis van confirmar que el transport múltiple de carbohidrats tenia com a resultat unes taxes d'oxidació superiors (fins a un 75 %) a les dels carbohidrats que utilitzen només el transportador SGLT1 (per consultar-ne estudis, vegeu Jeukendrup, 2008, 2010). Resulta interessant que aquestes taxes d'oxidació tan elevades no només es podien aconseguir mitjançant carbohidrats ingerits en una beguda, sinó també en forma de gel (Pfeiffer, Stellingwerff, Zaltas, & Jeukendrup, 2010a) o de barreta energètica baixa en greix, en proteïnes i en fibra (Pfeiffer, Stellingwerff, Zaltas, & Jeukendrup, 2010b).

Hi ha diversos estudis que vinculen l'augment de les taxes d'oxidació exògena dels carbohidrats observades en el transport múltiple de carbohidrats amb l'endarreriment de la fatiga i l'augment del rendiment durant l'exercici. Les taxes d'esforç percebut (RPE) durant un exercici prolongat poden ser inferiors amb una mescla de glucosa:fructosa que només amb glucosa, i els ciclistes poden mantenir millor el ritme (Jeukendrup et al., 2006; Rowlands, Thorburn, Thorp, Broadbent, & Shi, 2008). També es va demostrar que la beguda de glucosa:fructosa pot millorar el rendiment durant l'exercici (Currell & Jeukendrup, 2008). Els ciclistes van fer exercici durant 2 hores en una bicicleta ergomètrica al 54 % VO₂ màx, temps durant el qual van ingerir una beguda de carbohidrats o un placebo. Se'ls va demanar que fessin una

Recommendations for carbohydrate intake during exercise are dependent on exercise duration, the absolute exercise intensity as well as the sport and its rules and regulations (see figure 1).

Athletes who perform at absolute intensities that are lower will have lower carbohydrate oxidation rates and the amounts presented in figure 1 should be adjusted (downwards) accordingly.

The recommended carbohydrate intake can be achieved by consuming drinks, gels of low fat, low protein and low fibre solid foods (bars) and selection should be based on personal preference.

Athletes can adopt a mix and match strategy to achieve their carbohydrate intake goals.

Carbohydrate intake should be balanced with a fluid intake plan based on fluid needs and it must be noted that solid foods and highly concentrated carbohydrate solutions have been shown to reduce fluid absorption.

It is highly recommended to train/practice the nutrition strategy for competition to reduce the chances of gastrointestinal discomfort and to increase the absorptive capacity of the intestine.

▲ **Figure 2.** Recommendations for carbohydrate intake during different endurance events

time trial that lasted approximately 60 min. When the subjects ingested a glucose drink (at 1.8 g/min), they improved their power output by 9% (254W versus 231W). However, when they ingested glucose:fructose there was another 8% improvement of the power output over and above the improvement by glucose ingestion (275W versus 254W). Other studies confirmed the benefits of glucose:fructose compared with glucose only (Rowlands, Swift, Ros, & Green, 2012; Triplett, Doyle, Rupp, & Benardot, 2010).

Performance benefits have generally be observed in studies that are 2.5h or longer and effects start to become visible in the third hour of exercise (Jeukendrup et al., 2006). When exercise duration is shorter, or intakes are below 70 g/h multiple transportable carbohydrates may not have the same performance benefits (Hulston, Wallis, & Jeukendrup, 2009), but it must be noted that in these situations the effects are at least similar to other carbohydrate sources.

Les recomanacions sobre la ingestió de carbohidrats durant l'exercici depenen de la durada de l'exercici, de la intensitat absoluta de l'exercici, i de l'esport i les seves normes i regles (vegeu la figura 1).

Els atletes que treballen a intensitats absolutes inferiors obtindran taxes d'oxidació de carbohidrats inferiors i, per tant, s'han d'ajustar a la baixa les quantitats que apareixen en la figura 1.

La ingesta recomanada de carbohidrats es pot aconseguir consumint begudes, gels amb pocs greixos o aliments sòlids baixos en proteïnes i en fibra (barretes). L'elecció s'ha de basar en les preferències personals.

Els atletes poden fer servir una mescla d'estratègies per aconseguir els seus objectius pel que fa a la ingestió de carbohidrats.

La ingestió de carbohidrats s'ha d'equilibrar amb un pla d'ingestió de líquids basat en les necessitats de líquid. Cal tenir en compte que s'ha demostrat que els aliments sòlids i les solucions de carbohidrats altament concentrades redueixen l'absorció de líquids.

Es recomana posar en pràctica l'estratègia de nutrició amb temps, abans de la competició, per reduir les probabilitats de molèsties gastrointestinals i augmentar la capacitat d'absorció de l'intestí.

▲ **Figura 2.** Recomanacions d'ingestió de carbohidrats durant diferents proves de resistència

prova cronometrada que va durar aproximadament 60 minuts. Quan els subjectes ingerien una beguda de glucosa (a 1,8 g/min), millorava la seva potència un 9 % (254 W vs. 231 W). No obstant això, quan ingerien glucosa:fructosa, es produïa una altra millora del 8 % de la potència, superior a la produïda per la ingestió de glucosa (275 W vs. 254 W). Altres estudis van confirmar els beneficis de la glucosa:fructosa en comparació amb la glucosa sola (Rowlands, Swift, Ros, & Green, 2012; Triplett, Doyle, Rupp, & Benardot, 2010).

Els beneficis sobre el rendiment s'han observat generalment en estudis de 2,5 hores o més i els efectes comencen a ser visibles durant la tercera hora d'exercici (Jeukendrup et al., 2006). Quan la durada de l'exercici és més curta o les ingestions són inferiors a 70 g/h, és possible que el transport múltiple de carbohidrats no tingui els mateixos beneficis sobre el rendiment (Hulston, Wallis, & Jeukendrup, 2009), però cal tenir en compte que, en aquestes situacions, els efectes són, com a mínim, similars als d'altres fonts de carbohidrats.

Carbohydrate during exercise and performance: dose response

Very few well controlled dose-response studies on carbohydrate ingestion during exercise and exercise performance have been published. Most of the older studies had serious methodological issues that made it difficult to establish a true dose response relationship between the amount of carbohydrate ingested and performance. Until a few years ago the conclusion seemed to be that you needed a minimum amount of carbohydrate (probably about 20 grams per hour based on one study) but it was generally assumed that there was no dose response relationship (Rodríguez et al., 2009). Good dose-response studies, however, were noticeably absent at that time.

More recently, however, evidence has been accumulating for a dose response relationship between carbohydrate ingestion rates, exogenous carbohydrate oxidation rates and performance. In one recent carefully conducted study, endurance performance and fuel selection was measured during prolonged exercise while ingesting glucose (15, 30, and 60 g/h) (Smith, Zachwieja, Peronnet et al., 2010). Twelve subjects cycled for 2-h at 77%VO_{2peak} followed by a 20-km time trial. The results suggest a relationship between the dose of glucose ingested and improvements in endurance performance. The exogenous glucose oxidation increased with ingestion rate and it is possible that an increase in exogenous carbohydrate oxidation is directly linked with, or responsible for, exercise performance.

A large scale multicentre study by Smith, Zachwieja, Horswill et al. (2010) also investigated the relationship between carbohydrate ingestion rate and cycling time trial performance to identify a range of carbohydrate ingestion rates that would enhance performance. In their study, across 4 research sites, 51 cyclists and triathletes completed four exercise sessions consisting of a 2-hour constant load ride at a moderate to high intensity. Twelve different beverages (consisting of glucose:fructose in a 2:1 ratio) were compared, providing participants with 12 different carbohydrate doses ranging from 10 to 120 g carbohydrate/h during the constant

Els carbohidrats durant l'exercici i el rendiment: resposta a la dosi

S'han publicat pocs estudis ben controlats sobre la resposta a la dosi en la ingestió de carbohidrats durant l'exercici i el seu rendiment. La majoria dels estudis antics tenien problemes seriosos de metodologia que feien difícil establir una veritable relació de resposta a la dosi entre la quantitat de carbohidrats ingerits i el rendiment. Fins fa pocs anys, la conclusió semblava ser que es necessitava una quantitat mínima de carbohidrats (probablement, uns 20 grams per hora segons un estudi), però en general s'assumia que no hi havia cap relació amb la resposta a la dosi (Rodríguez et al., 2009). Tanmateix, en aquella època mancaven bons estudis relacionats amb la resposta a la dosi.

Més recentment s'han anat acumulant proves d'una relació de resposta a la dosi entre les taxes d'ingestió de carbohidrats, les taxes d'oxidació exògena de carbohidrats i el rendiment. En un estudi acurat recent realitzat, es van mesurar el rendiment de resistència i la selecció de combustible durant un exercici prolongat mentre s'ingeria glucosa (15, 30 i 60 g/h) (Smith, Zachwieja, Peronnet et al., 2010). Dotze subjectes van pedalejar durant 2 hores al 77 % Vo₂ pic i, seguidament, van fer una prova cronometrada de 20 km. Els resultats suggerien una relació entre la dosi de glucosa ingerida i les millores en el rendiment de resistència. L'oxidació exògena de glucosa augmentava amb la taxa d'ingestió i és possible que l'augment de l'oxidació exògena de carbohidrats estigui directament relacionada amb el rendiment de l'exercici, o que fins i tot en sigui responsable.

Un estudi multicentre a gran escala realitzat per Smith, Zachwieja, Horswill et al. (2010) també va analitzar la relació entre la taxa d'ingestió de carbohidrats i el rendiment en la prova cronometrada de ciclisme, per identificar una gamma de taxes d'ingestió de carbohidrats que millorés el rendiment. En l'estudi esmentat, realitzat en 4 centres de recerca, 51 ciclistes i triatletes van completar quatre sessions d'exercicis de 2 hores, a càrrega constant i amb una intensitat de moderada a alta. Es van comparar dotze begudes diferents (constituïdes per glucosa/fructosa en una proporció de 2:1) i es van oferir als participants 12 dosis diferents de carbohidrats, dels 10 als 120 g de carbohidrats/hora, durant la prova de

load ride. The carbohydrates used were multiple transportable carbohydrates (glucose:fructose). At all four sites, a common placebo that was artificially sweetened, colored, and flavored and did not contain carbohydrate was provided. The order of the beverage treatments was randomized at each site (3 at each site). Immediately following the constant load ride, participants completed a computer simulated 20-km time trial as quickly as possible. The ingestion of carbohydrate significantly improved performance in a dose dependent manner and the authors concluded that the greatest performance enhancement was seen at an ingestion rate between 60-80 g carbohydrate/h. Interestingly, these results are in line with an optimal carbohydrate intake proposed by a recent meta-analysis (Vandenbogaerde & Hopkins, 2010).

Based on the studies mentioned above carbohydrate intake recommendation for more prolonged exercise can be formulated and are listed in newly proposed guidelines in Figure 1.

Training status

A question that often arises is whether the results of these studies (often conducted in trained or even very well trained individuals) may translate to less trained or untrained individuals. A few studies compared a group of trained individuals with untrained. No differences were found in exogenous carbohydrate oxidation between trained and untrained (Jeukendrup, Mensink, Saris, & Wagenmakers, 1997; Van Loon, Jeukendrup, Saris, & Wagenmakers, 1999).

It is possible that there is an absolute exercise intensity below which exogenous oxidation rates are lower and this may be more important than the training status of the athlete. It is unlikely that the runner who completes the marathon in 5 h would need an intake of 90 carbohydrate per hour as this would be close to, or could even exceed, the total carbohydrate use, at that absolute exercise intensity.

càrrega constant. Els carbohidrats utilitzats van ser carbohidrats múltiples transportables (glucosa:fructosa). En tots quatre centres de recerca es va subministrar també un placebo comú, al qual se li havia afegit dolçor, color i sabor artificial, i que no contenia carbohidrats. L'ordre dels tractaments amb begudes va ser aleatori a cada centre (3 en cada centre). Immediatament després de la prova de càrrega constant, els participants van haver de completar una prova cronometrada de 20 km simulada per ordinador, tan ràpid com fos possible. La ingestió de carbohidrats va millorar significativament el rendiment en funció de la dosi i els autors van concloure que el millor rendiment es va produir amb una taxa d'ingestió d'entre 60 i 80 g de carbohidrats/hora. Resulta interessant que aquests resultats concordin amb la ingestió òptima de carbohidrats proposada en una metaanàlisi recent (Vandenbogaerde & Hopkins, 2010).

A partir dels estudis esmentats anteriorment, es pot formular una recomanació d'ingesta de carbohidrats per a un exercici més prolongat, que incloem en les noves directrius de la figura 1.

Nivell d'entrenament

Una qüestió que sorgeix sovint és si els resultats d'aquests estudis (realitzats sovint amb persones que fan entrenament o molt d'entrenament) es poden aplicar a persones menys entrenades o sense entrenament. Alguns estudis han comparat un grup de persones amb entrenament amb un grup de persones sense. No es van trobar diferències en l'oxidació exògena de carbohidrats entre unes i altres (Jeukendrup, Mensink, Saris, & Wagenmakers, 1997; Van Loon, Jeukendrup, Saris, & Wagenmakers, 1999).

És possible que hi hagi una intensitat d'exercici absoluta per sota de la qual les taxes d'oxidació exògena són més baixes i això pot ser més important que el nivell d'entrenament de l'atleta. És poc probable que el corredor que acaba una maratón en 5 hores necessiti una ingestió de 90 g de carbohidrats per hora, ja que aquesta xifra seria similar o fins i tot superior a l'ús total de carbohidrats amb aquella intensitat absoluta d'exercici.

Effect of body weight

The guidelines for carbohydrate intake during exercise, presented here, are expressed in grams per hour of exercise and that these figures are not corrected for body mass. In the most recent position statement by the American Dietetics Association (ADA) and ACSM (Rodríguez et al., 2009), advice with respect to carbohydrate intake during exercise is expressed in g/kg. The rationale for this was unclear as there appears to be no correlation between body mass and exogenous carbohydrate oxidation (Jeukendrup, 2010). The reason, for this lack of correlation between body weight and exogenous carbohydrate oxidation, is probably that the limiting factor is carbohydrate absorption and absorption is largely independent of body mass. It is likely, however, that the absorptive capacity of the intestine is modified by carbohydrate content of the diet as it has been shown in animal studies that intestinal transporters can be upregulated with increased carbohydrate intake. Since exogenous carbohydrate is independent of body mass or muscle mass, but dependent on absorption and to some degree the absolute exercise intensity (at very low absolute intensities, low carbohydrate rates may also restrict exogenous carbohydrate oxidation), the advice given to athletes should be in absolute amounts. These results clearly show that there is no rationale for expressing carbohydrate recommendations for athletes per kilogram body mass (Figure 1).

In summary, individual differences in exogenous carbohydrate oxidation exist, although they are generally small. These differences are not related to body mass but more likely to a capacity to absorb carbohydrates. This in turn could be diet related.

Training the gut

Since the absorption of carbohydrate limits exogenous carbohydrate oxidation, and exogenous carbohydrate oxidation seems to be linked with exercise performance, an obvious potential strategy would be to increase the absorptive capacity of the

Efecte del pes corporal

Les directrius per a la ingestió de carbohidrats durant l'exercici que presentem en aquest article s'expressen en grams per hora d'exercici. Aquestes xifres no tenen en compte la massa corporal. En la declaració més recent de l'Associació Americana de Dietètica (ADA) i de l'ACSM (Rodríguez et al., 2009), els consells respecte de la ingestió de carbohidrats durant l'exercici s'expressen en g/kg. La base d'aquest mètode és poc clara, ja que no sembla que hagi correlació entre la massa corporal i l'oxidació exògena de carbohidrats (Jeukendrup, 2010). La raó d'aquesta manca de correlació entre el pes corporal i l'oxidació exògena de carbohidrats és probablement el fet que el factor limitador de l'absorció de carbohidrats és independent de la massa corporal. No obstant això, és probable que el contingut en carbohidrats de la dieta modifiqui la capacitat d'absorció de l'intestí, ja que en estudis amb animals s'ha demostrat que els transportadors intestinals es poden regular augmentant la ingestió de carbohidrats. Com que l'oxidació exògena de carbohidrats no depèn de la massa corporal ni muscular, sinó de l'absorció i, fins a un cert punt, de la intensitat absoluta de l'exercici (amb intensitats absolutes molt baixes, taxes baixes de carbohidrats també poden limitar l'oxidació exògena de carbohidrats), la quantitat per als atletes s'hauria d'expressar en xifres absolutes. Aquests resultats demostren clarament que no hi ha cap raó per expressar les recomanacions relatives a carbohidrats per als atletes en quilograms de massa corporal (figura 1).

En resum, les diferències individuals quant a l'oxidació exògena de carbohidrats existeixen, tot i que són generalment petites. Aquestes diferències no estan relacionades amb la massa corporal, sinó més aviat amb la capacitat d'absorbir els carbohidrats. I aquest fet, al seu torn, podria estar relacionat amb la dieta.

Entrenar l'intestí

Com que l'absorció de carbohidrats limita l'oxidació exògena de carbohidrats i com que l'oxidació exògena de carbohidrats sembla que està relacionada amb el rendiment durant l'exercici, una estratègia potencial òbvia seria augmentar la capacitat d'absorció de l'intestí. Les

gut. Anecdotal evidence in athletes would suggest that the gut is trainable and that individuals who regularly consume carbohydrate or have a high daily carbohydrate intake may also have an increased capacity to absorb it. Intestinal carbohydrate transporters can indeed be upregulated by exposing an animal to a high carbohydrate diet (Ferraris, 2001). To date there is limited evidence in humans. A recent study by Cox et al. (2010) investigated whether altering daily carbohydrate intake affects substrate oxidation and in particular exogenous carbohydrate oxidation. It was demonstrated that exogenous carbohydrate oxidation rates were higher after the high carbohydrate diet (6.5 g/kg bodyweight/day; 1.5 g/kg BW provided mainly as a carbohydrate supplement during training) for 28 days compared with a control diet (5 g/kg bodyweight/day). This study provided evidence that the gut is indeed adaptable and this can be used as a practical method to increase exogenous carbohydrate oxidation. We recently suggested that this may be highly relevant to the endurance athlete and may be a prerequisite for the first person to break the 2h marathon barrier (Stellingwerff & Jeukendrup, 2011). Although more research is needed, it is recommended to practice the carbohydrate intake strategy in training, and dedicate at least some training to training with a relatively high carbohydrate intake.

Carbohydrate intake in real life events

Relatively few studies have investigated how much carbohydrate athletes ingest during races and whether they meet the guidelines. In a study by Kimber, Ross, Mason and Speedy (2002) the average carbohydrate intake during an Ironman distance triathlon was 1.0 g/kg BW/h in female triathletes and 1.1 g/kg BW/h in male triathletes. They achieved these carbohydrate intakes by ingesting very large amounts of carbohydrate during cycling (approximately 1.5 g/kg BW/h). Most of the intake occurred during the cycling leg where intake was almost 3 times as high as

proves anecdòtiques en atletes suggereixen que l'intestí es pot entrenar i que aquelles persones que consumeixen regularment carbohidrats o que ingereixen grans quantitats diàries de carbohidrats poden augmentar la seva capacitat per absorbir-los. Els transportadors intestinals de carbohidrats es poden regular si s'exposa un animal a una dieta elevada en carbohidrats (Ferraris, 2001). Avui dia, encara s'han fet poques proves en humans. Un estudi recent realitzat per Cox et al. (2010) investigava si l'alteració de la ingesta diària de carbohidrats afecta l'oxidació del substrat i, en particular, l'oxidació exògena de carbohidrats. Es va demostrar que les taxes d'oxidació exògena de carbohidrats eren més grans després d'una dieta elevada en carbohidrats (6,5 g/kg de pes corporal per dia; 1,5 g/kg de pes corporal subministrat principalment en forma de suplement de carbohidrats durant l'entrenament) durant 28 dies, en comparació amb una dieta de control (5 g/kg de pes corporal per dia). Aquest estudi demostrava que l'intestí és adaptable i, per tant, que es pot utilitzar com a mètode pràctic per augmentar l'oxidació exògena de carbohidrats. No fa gaire hem suggerit que aquest fet pot ser molt rellevant per als atletes de resistència i que pot ser un requisit previ per a la primera persona en trencar la barrera de la marató i situar-la en menys de 2 hores (Stellingwerff & Jeukendrup, 2011). Tot i que cal més recerca, es recomana practicar l'estratègia de la ingestió de carbohidrats durant l'entrenament i dedicar un cert temps a l'entrenament amb ingestes relativament elevades de carbohidrats.

Ingestió de carbohidrats en proves reals

Relativament pocs estudis han investigat la quantitat de carbohidrats que ingereixen els atletes durant les curses i si els valors estan d'acord amb les directrius. En un estudi elaborat per Kimber, Ross, Mason i Speedy (2002) la ingesta mitjana de carbohidrats durant una distància ironman de triatló va ser d'1,0 g/kg de pes corporal/h en el cas de les dones i d'1,1 g/kg de pes corporal/h en el cas dels homes. Els atletes van assolir aquests valors quan van ingerir grans quantitats de carbohidrats durant el segment de ciclisme (aproximadament, 1,5 g/kg de pes corporal/h). La major part de la ingestió va tenir lloc durant el segment de ciclisme, en què va ser quasi tres cops superior a la del

during running leg. In male athletes carbohydrate intake was positively correlated with finish time but this relationship could not be confirmed in females. A large study of endurance events by Pfeiffer et al. (2012), demonstrated wide variation in carbohydrate intake reported by athletes between and within events, with highest intakes in cycling and triathlon events and lowest in marathons. In this study it was also found that in Ironman races carbohydrate intake was related to finish time with greater carbohydrate intake correlating to better performance. These findings appear to be in agreement with the recent dose response studies by Smith, Pascoe et al. (2012) and Smith, Zachwieja et al. (2010).

Different advice for different endurance sports

With carbohydrate feeding during cycling it has repeatedly been shown that muscle glycogen breakdown is unaffected. During running, however, there are suggestions that muscle glycogen breakdown is reduced in particular in type I muscle fibres (Tsintzas, Williams, Boobis, & Greenhaff, 1995). Therefore carbohydrate feeding results in improved performance in cycling and running, although the mechanism by which this occurs may not necessarily be the same. This issue is discussed in more detail in an excellent review by Tsintzas and Williams (1998). Exogenous carbohydrate oxidation appears to be similar in cycling and running (Pfeiffer, Stellingwerff, Zaltas, Hodgson, & Jeukendrup, 2011) suggesting that the advice for cyclists and runners is not different.

Intermittent and skill sports

The vast majority of studies has been performed with endurance athletes performing continuous exercise. Most team sports have a highly intermittent nature with bursts of very high intensity exercise followed by relatively low intensity

segment de cursa. En els atletes masculins, la ingestió de carbohidrats es va relacionar positivament amb el temps final, però aquesta relació no es va poder confirmar en les atletes femenines. Un ampli estudi sobre proves de resistència realitzat per Pfeiffer et al. (2012) va mostrar una gran variació en la ingestió de carbohidrats dels atletes entre proves i durant aquestes. Les ingestions més grans van tenir lloc en proves de ciclisme i de triatló, i les més baixes, en maratons. En aquest estudi també es va descobrir que en les curses ironman la ingestió de carbohidrats estava relacionada amb el temps final i que els atletes amb ingestes superiors de carbohidrats aconseguien el millor rendiment. Aquests resultats semblen concordar amb els estudis recents sobre resposta a la dosi de Smith, Pascoe et al. (2012) i Smith, Zachwieja et al. (2010).

Diferent assessorament per a diferents esports de resistència

Amb la ingestió de carbohidrats durant les proves de ciclisme s'ha demostrat repetidament que la descomposició del glicogen muscular no es veu afectada. En córrer, en canvi, hi ha indicis que suggereixen que la descomposició del glicogen muscular es redueix, particularment en les fibres musculars de tipus I (Tsintzas, Williams, Boobis, & Greenhaff, 1995). Així doncs, la ingestió de carbohidrats ajuda a aconseguir un millor rendiment en ciclisme i en curses, tot i que el mecanisme que ho fa possible no és necessàriament el mateix. Aquest tema es tracta amb més detall en un article de revisió excel·lent de Tsintzas i Williams (1998). L'oxidació exògena de carbohidrats sembla que és similar en el ciclisme i en curses (Pfeiffer, Stellingwerff, Zaltas, Hodgson, & Jeukendrup, 2011), la qual cosa suggereix que les recomanacions per als ciclistes i els corredors han de ser les mateixes.

Esports intermitents i d'habilitat

La gran majoria d'estudis s'ha portat a terme amb atletes de resistència fent un exercici continu. La majoria d'equips esportius tenen una naturalesa altament intermitent, amb esclats d'exercici d'intensitat molt elevada seguits de períodes de recuperació d'intensitat relativament

recovery periods. Besides this, performance in these sports is often dependent on other factors than maintenance of speed or power and factors like agility, timing, motor skill, decision making, jumping, and sprinting may all play a role. Nevertheless, carbohydrate ingestion during exercise has also been shown to enhance endurance capacity in intermittent activities. A large number of studies have demonstrated that if carbohydrate is ingested during intermittent running, fatigue can be delayed and time to exhaustion can be increased (Davison et al., 2008; Foskett, Williams, Boobis, Tsintzas, 2008; Nicholas, Nuttall, & Williams, 2000; Nicholas, Williams, Lakomy, Phillips, & Nowitz, 1995; Patterson & Gray, 2007).

More recently, studies have incorporated measurements of skill into their performance measurements. Currell, Conway and Jeukendrup (2009) developed a 90 min soccer simulation protocol that included measurements of skill, such as agility, dribbling, shooting and heading. The soccer players performed 90 min of intermittent exercise that mimicked their movement patterns during a game. During the 90 min, skill performance measurements were performed at regular intervals. Agility, dribbling and accuracy of shooting were all improved but heading was not affected with carbohydrate ingestion. Other studies have found similar effects (Ali, Williams, Nicholas, & Foskett, 2007). Although typically a number of the skills measured in these studies were improved with carbohydrate feeding, the mechanisms behind these improvements are unknown and have not been studied in any detail.

It appears that carbohydrate intake during team sports and other sports with an element of skill has the potential to improve not only fatigue resistance but also the skill components of a sport, especially towards the end of a game. The practical challenge is often to find ways to ingest carbohydrate during a game within the rules of the sport.

Summary

In summary, there have been significant changes in the understanding of the role of carbohydrate during

baixa. A més d'això, el rendiment en esports d'equip sovint depèn d'altres factors que no són el manteniment de la velocitat o la potència, sinó que l'agilitat, la coordinació, les habilitats motores, la presa de decisions, els salts i l'esprint, per exemple, poden ser molt importants. No obstant això, també s'ha demostrat que la ingestió de carbohidrats durant l'exercici millora la capacitat de resistència en activitats intermitents. En molts casos, s'ha comprovat que si s'ingereixen carbohidrats mentre es corre intermitentment, la fatiga es pot endarrerir i es pot augmentar el temps que passa fins arribar a l'esgotament (Davison et al., 2008; Foskett, Williams, Boobis, Tsintzas, 2008; Nicholas, Nuttall, & Williams, 2000; Nicholas, Williams, Lakomy, Phillips, & Nowitz, 1995; Patterson & Gray, 2007).

Darrerament, els estudis han incorporat mesuraments de les habilitats en els que es realitzen sobre el rendiment. Currell, Conway and Jeukendrup (2009) van desenvolupar un protocol de simulació de futbol de 90 minuts que incloïa mesuraments d'habilitats com ara l'agilitat, el driblatge, el xut i el cop de cap. Els futbolistes van realitzar 90 minuts d'exercici intermitent que simulava els seus patrons de moviment durant un partit. Durant aquest període es van mesurar les habilitats a intervals regulars. L'agilitat, el driblatge i la precisió del xut van millorar, però el cop de cap no es va veure afectat per la ingestió de carbohidrats. Altres estudis han descobert efectes similars (Ali, Williams, Nicholas, & Foskett, 2007). Tot i que, normalment, algunes de les habilitats mesurades en aquests estudis van millorar gràcies a la ingestió de carbohidrats, els mecanismes causants d'aquestes millores encara no es coneixen i no s'han estudiat amb detall.

Sembla que la ingestió de carbohidrats durant la pràctica d'esports d'equip i altres esports que requereixen habilitat té el potencial de millorar no només la resistència a la fatiga, sinó també els components d'habilitat de l'esport, especialment cap al final del partit. El repte pràctic sol ser trobar maneres d'ingerir carbohidrats durant un partit sense incomplir les normes.

Resum

En resum, durant els darrers anys s'han produït canvis significatius en la manera d'entendre el paper que

exercise in recent years and this allows for more specific and more individualised advice with regards to carbohydrate ingestion during exercise. The new guidelines proposed take into account the duration (and intensity) of exercise and advice is not restricted to the amount of carbohydrate, it also gives direction with respect to the type of carbohydrate. The recommendations presented here are derived mostly from studies with trained and well-trained athletes. Athletes who perform at absolute intensities that are lower will have lower carbohydrate oxidation rates and the amounts presented here should be adjusted (downwards) accordingly. The recommended carbohydrate intake can be achieved by consuming drinks, gels of low fat, low protein and low fibre solid foods (bars) and selection should be determined by personal preference. Athletes can adopt a mix and match strategy to achieve their carbohydrate intake goals. However, the carbohydrate intake should be balanced with a fluid intake plan and it must be noted that solid foods and highly concentrated carbohydrate solutions have been shown to reduce fluid absorption. Although, a slowing of gastric emptying and absorption can partly be prevented by using multiple transportable carbohydrates, this is something the athlete needs to consider when developing their nutrition strategy. Although more research is needed, it is highly recommended to train the nutrition strategy to reduce the chances of gastro-intestinal discomfort and to increase the absorptive capacity of the intestine.

Finally it must be noted that most studies are based on findings in runners and cyclist and more work is needed to establish the effects and underlying mechanisms of carbohydrate ingestion on skill components in intermittent team sports.

Disclaimer

The Gatorade Sports Science Institute is a division of PepsiCo Inc. The view expressed in the article are the views of the author and do not necessarily reflect the position or policy of PepsiCo Inc.

juguen els carbohidrats durant l'exercici, i canvis que permeten realitzar un assessorament més específic i més individualitzat pel que fa a la ingestió de carbohidrats durant l'exercici. Les noves directrius proposades tenen en compte la durada (i la intensitat) de l'exercici i l'assessorament no es limita a la quantitat de carbohidrats, sinó que també en proposa el tipus. Les recomanacions que es presenten en aquest article deriven principalment dels estudis realitzats amb atletes entrenats i molt entrenats. Els atletes que treballin a intensitats absolutes inferiors obtindran taxes d'oxidació de carbohidrats inferiors i, per tant, s'han d'ajustar a la baixa les quantitats que aquí s'indiquen. La ingesta recomanada de carbohidrats es pot assolir consumint begudes, gels amb pocs greixos o aliments sòlids baixos en proteïnes i en fibra (barretes) i l'elecció s'ha de basar en les preferències personals. Els atletes poden fer servir una mescla d'estratègies per aconseguir els seus objectius d'ingesta de carbohidrats. Tanmateix, cal equilibrar-la amb un pla d'ingestió de líquids. Cal tenir en compte que s'ha demostrat que els aliments sòlids i les solucions de carbohidrats altament concentrades redueixen l'absorció de líquids. Malgrat que es pot evitar parcialment l'alentiment del buidament gàstric i de l'absorció mitjançant l'ús del transport múltiple de carbohidrats, es tracta de quelcom que l'atleta ha de considerar a l'hora de desenvolupar la seva estratègia nutricional. Encara que cal més recerca, es recomana ajustar l'estratègia de nutrició per reduir les probabilitats de molèsties gastrointestinals i augmentar la capacitat d'absorció de l'intestí.

Finalment, cal tenir en compte que la majoria d'estudis es basen en descobriments realitzats amb corredors i ciclistes, per la qual cosa cal investigar més per establir els efectes i els mecanismes subjacents de la ingestió de carbohidrats en els components d'habilitat d'esports intermitents d'equip.

Descàrrec de responsabilitat

L'Institut Gatorade de Ciències de l'Esport és una divisió de PepsiCo Inc. Els punts de vista que s'expressen en aquest article són els de l'autor i poden no representar la postura o la política de PepsiCo Inc.

References / Referències

- 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
- 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
- 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
- Christensen, E. H., & Hansen, O. (1939). Arbeitsfähigkeit und Ernährung. *Skandinavisches Archiv Für Physiologie*, *81*, 160-171. doi:10.1111/j.1748-1716.1939.tb01320.x
- 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.
- 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
- 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.
- 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.0b013e31815ad1f9
- 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.
- 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
- Ferraris, R. P. (2001). Dietary and developmental regulation of intestinal sugar transport. *Biochemical Journal*, *360*, 265-276. doi:10.1042/0264-6021:3600265
- Fielding, R. A., Costill, D. L., Fink, W. J., King, D. S., Hargreaves, M., & Kowaleski, J. E. (1985). Effect of carbohydrate feeding frequencies and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *17*, 472-476. doi:10.1249/00005768-198508000-00012
- 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
- Gant, N., Stinear, 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
- 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
- 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
- Jeukendrup, A. E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, *20*, 669-677. doi:10.1016/j.nut.2004.04.017
- Jeukendrup, A. E. (2008). Carbohydrate feeding during exercise. *European Journal of Sport Science*, *8*, 77-86.
- 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
- 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
- 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
- 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
- Jeukendrup, A. E., & McLaughlin, 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
- 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.
- 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
- 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.
- Krogh, A., & Lindhard, J. (1920). The relative value of fat and carbohydrate as sources of muscular energy. *Biochemical Journal*, *14*, 290-363.
- 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.
- 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
- 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
- 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.
- 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
- Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Zaltas, E., & Jeukendrup A. E. (2010). 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
- Pfeiffer, B., Stellingwerff, T., Zaltas, E., & Jeukendrup, A. E. (2010). Oxidation of solid versus liquid CHO sources during exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42, 2030-2037. doi:10.1249/MSS.0b013e3181e0efc9
- 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
- Rodríguez, 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.0b013e31890eb86
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- 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.