



CARBOIDRATOS ABSORVIDOS POR DIFERENTES TRANSPORTADORES E OS BENEFÍCIOS RELACIONADOS

Publicado: Janeiro 2013/Autor: **Asker E. Jeukendrup**, PhD/Tópico: Carboidratos
Asker E. Jeukendrup | Instituto Gatorade de Ciências dos Esportes | Barrington (IL) | Estados Unidos da América

- Durante o exercício prolongado, os benefícios obtidos na performance através da ingestão de carboidratos podem ser alcançados pela manutenção da concentração da glicose plasmática e altas taxas de oxidação de carboidratos.
- As limitações para a oxidação dos carboidratos exógenos (obtidos a partir da dieta) parecem estar no processo de absorção, provavelmente devido à saturação dos transportadores de carboidratos. A utilização de uma combinação de carboidratos que possuem diferentes transportadores intestinais para a absorção (carboidratos absorvidos por diferentes transportadores) pode aumentar a oferta e a oxidação de carboidratos.
- Estudos demonstraram taxas até 65% maiores da oxidação de carboidratos exógenos com a ingestão de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores (glicose: frutose) durante o exercício, em comparação com um único tipo de carboidrato (exemplo, glicose apenas).
- As taxas de oxidação de carboidratos exógenos atingem valores de 1,75 g/min com a ingestão de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores, quando anteriormente acreditava-se que a taxa de 1 g/min era o máximo valor absoluto possível.
- A maior oxidação de carboidratos com a ingestão dos carboidratos absorvidos por diferentes transportadores foi acompanhada pela maior distribuição de líquidos e melhor eficiência da oxidação, além de menor probabilidade de desconforto gastrointestinal.
- Estudos também demonstraram a redução da fadiga e melhora na performance do exercício com a utilização de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores em comparação com um único tipo de carboidrato.
- Os carboidratos absorvidos por diferentes transportadores, em uma alta taxa de ingestão, podem ser benéficos durante esportes de resistência onde a duração do exercício é de 2,5 horas ou mais.
- A recomendação para os eventos de resistência prolongados (2,5 horas ou mais) é a ingestão de 90g por hora de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores. Esta recomendação não é expressa em relação à massa corporal porque o tamanho corporal não parece ter um papel principal na oxidação de carboidratos exógenos.

LEITURA RECOMENDADA

Fevereiro de 2013 SSE #106: A suplementação com Carboidratos durante o Exercício Ajuda? O Quanto é demais?

Fevereiro de 2013 SSE #61: Carboidratos, Aminoácidos com Cadeia Ramificada e Resistência: A Hipótese Central da Fadiga

INTRODUÇÃO

De acordo com o livro de Eric Klinenberg "Onda de Calor: uma Autópsia Social do Desastre em Chicago", a "perda de vidas humanas em períodos de calor intenso no verão excede as mortes causadas por todos os outros eventos climáticos em conjunto, incluindo raios, chuvas, enchentes, furacões e tornados" (Klinenberg, 2002). Durante o exercício, especialmente com exposição ao calor, a musculatura em exercício aumenta a temperatura interna corporal. Para evitar o superaquecimento, líquidos se movem da corrente sanguínea para a pele, onde eles podem ser evaporados na forma de suor, desta forma resfriando o corpo. Portanto, a manutenção do volume sanguíneo é essencial para a termorregulação ótima durante o exercício. Em humanos, o principal método de manter os líquidos corporais, incluindo o volume sanguíneo, é através da ingestão de líquidos, apesar de uma pequena quantidade de água (~10%) ser produzida pelas células durante os processos metabólicos. Devido a manutenção dos líquidos ser tão importante para a sobrevivência, seres humanos têm uma série de mecanismos importantes para detectar alterações na quantidade geral de líquidos no corpo e sua composição.

Nesta revisão, estes mecanismos serão descritos, seguido da maneira como eles funcionam durante os exercícios. Depois, iremos descrever como a hidratação e a hiponatremia associada ao exercício físico (EAH) ocorrem quando o corpo é levado a situações extremas e incapaz de empregar os mecanismos desenvolvidos

para manter a hidratação e a tonicidade adequadas como suporte ao funcionamento do corpo humano. Finalmente, serão discutidas as vantagens e desvantagens das medidas realizadas em campo e no laboratório.

A INGESTÃO DE UM ÚNICO CARBOIDRATO, DENTRE OS DIFERENTES TIPOS DE CARBOIDRATOS

Para estudar a eficácia dos diferentes carboidratos foi utilizada a técnica do marcador isotópico. Basicamente o carbono do carboidrato é marcado com ^{13}C e após a oxidação no corpo o ^{13}C irá aparecer no CO_2 exalado. Conhecendo o enriquecimento com ^{13}C da bebida, o total de CO_2 produzido e o total de CO_2 exalado enriquecido com ^{13}C , é possível medir a oxidação dos carboidratos exógenos ou a quantidade de carboidratos utilizada a partir da corrente sanguínea. Este método permitiu aos investigadores descrever o tempo de oxidação dos carboidratos e também comparar a oxidação de diferentes tipos de carboidratos. Durante o exercício, a maior parte da oxidação dos carboidratos acontece na musculatura, e estudos demonstraram que quase todo o carboidrato ingerido aparece na circulação e é utilizado pela musculatura (Jeukendrup et al., 1999). Quando os carboidratos são ingeridos desde o início do exercício e depois disso em intervalos regulares, a oxidação dos carboidratos ingeridos aumenta e normalmente atinge um platô após 60-90 minutos. Uma variedade de carboidratos incluindo a glicose, a frutose, a galactose, a sacarose, a maltose e polímeros da glicose foram estudados. Foi

encontrado que a frutose foi oxidada em uma taxa menor que a glicose (Burrelle et al., 2006) e que as taxas de oxidação da galactose foram quase 50% menores (Burrelle et al., 2006; Leijssen et al., 1995). Isto foi explicado pelas diferenças na absorção, assim como o fato de que a frutose e a galactose foram convertidas à glicose no fígado antes de serem oxidadas na musculatura. A maltose (2 moléculas de glicose) e os polímeros da glicose (múltiplas moléculas de glicose) se comportam de maneira idêntica à glicose, indicando que a hidrólise, que acontece na cavidade oral e nos intestinos, não é um fator limitante. Mesmo uma molécula de maior peso molecular de amido é oxidada na mesma taxa que a glicose (Rowlands et al., 2005). Curiosamente, a ingestão de sacarose (1 molécula de glicose e 1 molécula de frutose) parece gerar altas taxas de oxidação, apesar da quebra da sacarose resultar na glicose e na frutose sendo oxidadas em menores taxas. Outros carboidratos menos comuns, como a isomaltulose e a trealose também são oxidados em taxas menores.

Resumindo, há diferentes tipos de carboidratos e estes podem ser praticamente divididos em duas categorias: os carboidratos que são oxidados rapidamente (até ~60 g/hora ou 1 g/min) e os carboidratos oxidados de maneira relativamente lenta (até ~30 g/hora ou 0,5 g/min). Os carboidratos oxidados rapidamente incluem a glicose, a maltose, a sacarose e o amido amilopectina. Os carboidratos oxidados mais lentamente incluem a frutose, a galactose, a isomaltulose, a trealose e a amilose.

Anteriormente a 2004, acreditava-se que mesmo quando os “carboidratos rápidos” eram ingeridos durante o exercício, estes não poderiam ser oxidados em taxas maiores que 1 g/min (60 g/hora). As evidências foram revisadas em detalhes em outros trabalhos (Jeukendrup, 2004, 2008; Jeukendrup & Tipton, 2009). Estas visões daquele tempo ainda estão refletidas nas diretrizes atuais da Associação Americana de Medicina Esportiva (ACSM), que recomenda que os atletas devem ingerir de 30 a 60 gramas de carboidratos por hora (Rodriguez et al., 2009).

RAZÕES PARA AS LIMITAÇÕES DA OXIDAÇÃO DE CARBOIDRATOS EXÓGENOS

Apesar da observação geralmente aceita da taxa máxima de oxidação de carboidratos ser cerca de 1 g/min, as razões para este aparente valor máximo não estão claras. Acredita-se que as possíveis limitações incluem o esvaziamento gástrico, a absorção intestinal, a síntese de glicogênio no fígado e, portanto, o aparecimento sistêmico reduzido de carboidratos (glicose), ou a menor captação muscular de glicose. Foi demonstrado em diversos estudos que o esvaziamento gástrico do carboidrato excedeu bastante a taxa de 1 g/min e, portanto, isto foi excluído como o principal fator limitante da oxidação. Na época parecia impossível que a absorção intestinal fosse um fator limitante devido a muitos livros citarem que a capacidade para absorver carboidratos era praticamente ilimitada. Após a absorção, os carboidratos iriam parar no fígado através da veia porta e era teoricamente possível que o carboidrato fosse estocado lá, antes de conseguir alcançar a musculatura. Contudo, um estudo em particular sugeriu que o fígado também não poderia ser um fator limitante da oxidação. Neste estudo, os indivíduos se exercitaram por 5 horas e ingeriram relativamente grandes quantidades de glicose (Jeukendrup et al., 2006). Havia uma grande quantidade de carboidratos não contabilizada, quando a quantidade de carboidrato oxidada foi subtraída da quantidade de carboidrato ingerida, e teria sido impossível que toda esta quantidade

de carboidratos fosse estocada no fígado. Também foi demonstrado que a captação de glicose sanguínea pela musculatura não era um fator limitante, já que a captação de glicose era muito maior quando a glicose era diretamente injetada na circulação (Hawley et al., 1994). Já que nem o esvaziamento gástrico, a síntese de glicogênio no fígado, ou a captação de glicose muscular poderiam explicar as limitações na oxidação dos carboidratos exógenos, a atenção mudou para a absorção intestinal dos carboidratos.

OS CARBOIDRATOS ABSORVIDOS POR DIFERENTES TRANSPORTADORES

A glicose é absorvida através de uma proteína transportadora de glicose sódio dependente, chamada SGLT1 (Figura 1). Esta proteína transportadora da membrana com borda em escova tem uma afinidade por glicose e galactose, mas não por frutose (Kellelt, 2001). Estimou-se por hipótese que a limitação para a oxidação de carboidratos exógenos era a saturação dos transportadores SGLT1 na membrana com borda em escova do intestino, que pode ocorrer com a alta ingestão de glicose (Jentjens et al., 2004).

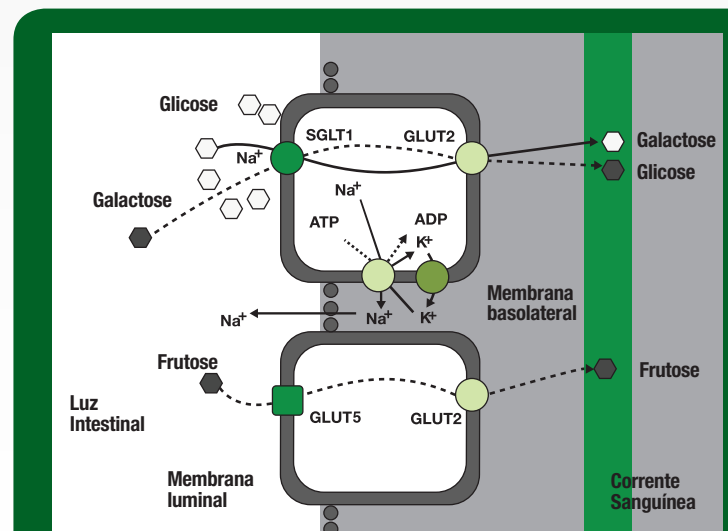


Figura 1. A absorção de diferentes tipos de carboidratos. Os monossacarídeos glicose e galactose são transportados pela membrana luminal do epitélio intestinal utilizando o transportador de glicose sódio dependente SGLT1. Acredita-se que este transportador fique saturado quando a ingestão de glicose é cerca de 60 g/h. A frutose utiliza um sistema diferente de transportador, e é transportada (independentemente de sódio) pela GLUT5. Estes monossacarídeos são transportados pela membrana basolateral para a circulação pela GLUT2.

Então, essencialmente quando um carboidrato que utiliza o SGLT1 é ingerido em uma taxa de 1 g/min, este transportador pode saturar e a ingestão de maior quantidade deste carboidrato específico pode não resultar em um aparecimento maior do carboidrato na circulação.

A absorção da frutose segue um caminho completamente diferente e não é afetada pela saturação da SGLT1. Ela é independentemente absorvida por um transportador independente de sódio chamado GLUT5 (Ferraris & Diamond, 1997). Então, uma ingestão combinada poderia resultar em uma entrega total maior de carboidratos para a circulação e maior oxidação pela musculatura. Estudos consecutivos foram, portanto, delineados para a oferta de glicose em uma taxa de

1,2 g/min e de frutose em uma taxa de 0,6 g/min com a ingestão total de carboidratos sendo 1,8 g/min e comparada com a ingestão de 1,8 g/min de glicose apenas. Neste estudo pioneiro realizado por Jentjens et al. (2004a), ciclistas em boa forma física se exercitaram por 3 horas em uma intensidade moderada e ingeriram quantidades iguais de energia seja de glicose ou de glicose:frutose.

As taxas de oxidação dos testes de glicose tiveram um pico em ~0,8 g/min enquanto as taxas de oxidação da glicose:frutose tiveram o pico em ~1,26 g/min (Figura 2, três barras da esquerda). Este foi o primeiro estudo a demonstrar que, com a utilização de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores, a oxidação dos carboidratos exógenos poderia ser aumentada para um valor bem acima de 1 g/min. Ele também demonstrou que a frutose, quando utilizada em combinação com a glicose, pode ser oxidada em uma taxa relativamente alta.

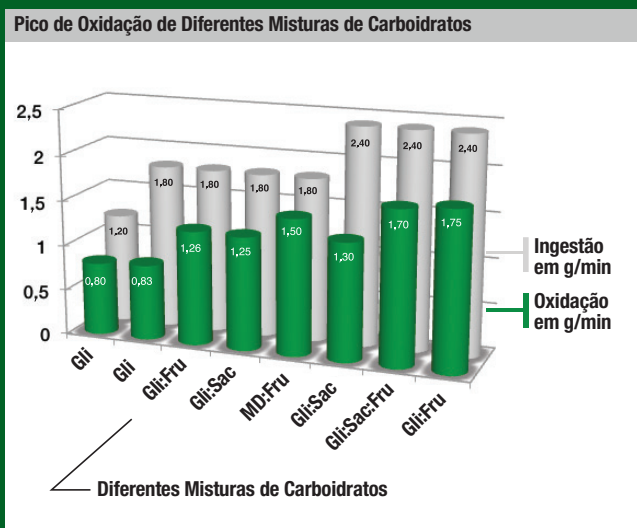


Figura 2. A oxidação de carboidratos exógenos de diferentes misturas de carboidratos. Os dados são de inúmeros estudos discutidos no texto.

Geralmente com maiores ingestões a oxidação de um único tipo de carboidrato tem um platô por volta de 1 g/min (0,8 g/min aqui), enquanto a oxidação de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores aumenta até 1,75 g/min.

Estes estudos seguintes investigaram diversas combinações de diferentes carboidratos como a glicose:sacarose:frutose, glicose:sacarose, e a maltodextrina:frutose, e estas misturas de carboidratos foram consumidas em diferentes taxas de ingestão (Figura 2). A ingestão de uma mistura de glicose:maltose foi oxidada nas mesmas taxas da oxidação de apenas glicose, porque a maltose é hidrolisada em glicose e então ela utiliza os mesmos transportadores intestinais de carboidrato SGLT1 (Jentjens et al., 2004b). A mistura de glicose:sacarose, no entanto, ingerida em uma taxa de 1,8 g/min resultou em um pico 18% maior nas taxas de oxidação dos carboidratos exógenos (Jentjens et al., 2004ab). Quando a glicose:sacarose foi ingerida em uma taxa muito alta (2,4 g/min) a oxidação teve um pico de 1,2 g/min, menor que o previsto. Apesar das comparações diretas entre os estudos serem

de alguma forma problemáticas, parece que neste estudo uma ingestão muito alta não resultou em taxas de oxidação maiores em comparação com a mistura de glicose:frutose, em quantidades de ingestão mais práticas (Jentjens et al., 2004a). Quando uma mistura de glicose:sacarose:frutose foi ingerida nestas taxas, no entanto, um pico na taxa de oxidação tão alto quanto 1,7 g/min foi observado (Jentjens et al. 2004c). Finalmente, a ingestão de glicose:frutose em uma média de 2,4 g/min resultou em uma oxidação 65% maior que apenas glicose e as taxas de oxidação atingiram um pico bastante alto de 1,75 g/min (Jentjens & Jeukendrup, 2005). Esta é a maior taxa de oxidação de carboidratos exógenos já relatada na literatura até o momento.

No entanto, de um ponto de vista prático o resultado mais animador talvez tenha sido a mistura de maltodextrina:frutose (Wallis et al. 2005). Esta combinação de carboidratos não é tão doce quanto as outras misturas discutidas acima e é, portanto, mais palatável. Neste estudo as taxas de oxidação alcançaram 1,5 g/min com uma taxa de ingestão de 1,8 g/min.

EFEITOS SOBRE A PERFORMANCE NO EXERCÍCIO

Nos estudos seguintes, quantidades mais práticas, mas ainda bem grandes de carboidratos foram ingeridas pelos indivíduos (1,5 g/min) e foi observado que as taxas de percepção de esforço dos indivíduos (RPE) tenderam a ser menores com a mistura de glicose e frutose em comparação com a glicose isoladamente, e que os ciclistas foram capazes de manter uma melhor cadência em direção ao estágio final das 5 horas de atividade (Jeukendrup et al., 2006). Rowlands et al. (2008) também relatou a fadiga reduzida na ingestão de mistura de maltodextrina:frutose em comparação com a maltodextrina por si só. Também foi demonstrado que a bebida com glicose:frutose poderia melhorar a performance no exercício (Currell & Jeukendrup, 2008) em comparação com a bebida com apenas glicose. Os ciclistas se exercitaram por 2 horas em uma bicicleta ergométrica em 54% do VO₂max durante as quais eles ingeriram ou uma bebida com carboidratos, ou placebo e foram depois solicitados a realizar um teste de tempo que durou mais ~60 minutos. Os resultados foram surpreendentes. Quando os indivíduos ingeriram uma bebida com glicose (em 1,8 g/min), eles melhoraram seu resultado em relação à força média em 9% em comparação com o placebo (254 contra 231 W). Contudo, quando eles ingeriram a solução de glicose:frutose, houve outra melhora de 8% no resultado de força, acima da melhora resultante da ingestão de glicose. Este foi o primeiro estudo a demonstrar um benefício claro na performance com a mistura de glicose:frutose comparada com a glicose apenas (Currell & Jeukendrup, 2008). Estes resultados foram confirmados por estudos seguintes que mostraram melhora na performance no teste de tempo de 100k (Triplett et al., 2010), melhor performance na corrida de mountain bike (Rowlands et al., 2012), assim como melhor performance no ciclismo de alta intensidade, em laboratório (Rowlands et al., 2012).

É importante notar que para se beneficiar de uma mistura de glicose:frutose pode ser necessário saturar os transportadores de

glicose no intestino pela ingestão de quantidades suficientes de glicose. Quando o carboidrato é ingerido em taxas de 0,8 g/min, a saturação pode não ocorrer, e ingerir parte deste carboidrato na forma de frutose pode não resultar em maiores taxas de oxidação de carboidratos exógenos (Hulston et al., 2009).

É também provável que a duração do exercício precise ser relativamente longa para estes efeitos ergogênicos se tornarem claros. Até o momento, estudos demonstraram estes efeitos quando o exercício durou 2,5 horas ou mais. É também importante notar que estes estudos foram todos realizados com ciclistas relativamente bem capacitados fisicamente que apresentam um ótimo rendimento em relação à força durante o exercício, e tiveram altas taxas de oxidação de carboidratos e de gasto energético. Estes resultados provavelmente não podem ser obtidos para os corredores de maratonas com duração de 5 horas que fazem a maratona em uma intensidade absoluta muito menor, com taxas totais de oxidação de carboidratos muito menores.

OUTROS EFEITOS DA INGESTÃO DE CARBOIDRATOS ABSORVIDOS POR DIFERENTES TRANSPORTADORES

Trabalhos mais recentes focaram nos efeitos das altas taxas da ingestão de diversos carboidratos no esvaziamento gástrico e na distribuição de líquidos. Novamente os resultados foram impressionantes. O esvaziamento gástrico medido, pelo tubo gástrico ou utilizando o ¹³C-acetato como marcador, foi melhor com a mistura de glicose:frutose em comparação com a glicose (Jeukendrup & Moseley, 2010). A distribuição de líquidos também foi melhor com a solução de glicose:frutose em comparação com a glicose em inúmeros estudos (Currell et al., 2008; Jentjens et al., 2006; Jeukendrup & Moseley, 2010). Adicionalmente, estudos demonstraram maior eficiência da oxidação com a ingestão de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores quando comparada com um único tipo de carboidrato. Isto indica que uma maior quantidade do carboidrato ingerido é oxidada, e menor quantidade é residual no intestino. Como resultado do esvaziamento gástrico mais rápido e da maior absorção, a maioria dos estudos também relatou menor desconforto gastrointestinal com a ingestão dos carboidratos absorvidos por diferentes transportadores em comparação com uma quantidade isoenergética de uma única fonte de carboidratos (Rowlands et al., 2012).

DIFERENÇAS INDIVIDUAIS

Diferenças individuais na oxidação de carboidratos exógenos são relativamente pequenas. Não parece haver correlação entre a massa corporal e a oxidação de carboidratos exógenos. Talvez a razão para isto provavelmente seja porque o fator limitante é a absorção de carboidratos, e a absorção é em grande parte independente da massa corporal. É provável que pequenas variações na oxidação de carboidratos sejam o resultado da capacidade de absorção do intestino, que por sua vez pode estar relacionada com o conteúdo de carboidratos da dieta. Foi mostrado em estudos animais que os transportadores intestinais foram estimulados com a maior ingestão de carboidratos e apenas um estudo humano até agora

demonstrou efeito semelhante (Cox et al., 2010). Estudos anteriores não mostraram diferenças na oxidação de carboidratos exógenos entre indivíduos bem treinados e não-treinados (Jeukendrup et al., 1997; van Loon et al., 1999). Talvez quando a intensidade absoluta do exercício, e portanto a taxa de oxidação total do carboidrato, é reduzida abaixo de um determinado nível, a oxidação de carboidratos exógenos possa também ser reduzida (Pirnay et al., 1982). Portanto, as recomendações baseadas nestes estudos podem ter que ser ligeiramente reduzidas, para aqueles que se exercitam em atividades com menores intensidades absolutas.

Já que o carboidrato exógeno é independente da massa corporal ou massa muscular, mas dependente da absorção e em certo grau da força realizada, a recomendação dada aos atletas deveria ser em quantidades absolutas (Jeukendrup, 2010). Estes resultados mostram que não há lógica em expressar as recomendações de ingestão de carboidratos para atletas por kg de massa corporal.

CONCLUSÃO

A ingestão de uma combinação de carboidratos que utilizam diferentes transportadores intestinais para a absorção, pode aumentar a oferta e a oxidação de carboidratos. Estes aumentos acontecem quando um carboidrato utilizando o transportador SGLT1 e um segundo carboidrato utilizando um sistema de transporte diferente para a absorção são ingeridos simultaneamente. A maior oxidação é observada apenas quando o carboidrato dependente de SGLT1 é ingerido em altas taxas (1 g/min). Enquanto anteriormente se acreditava que a taxa máxima absoluta de oxidação, para a oxidação dos carboidratos exógenos, era 1 g/min estudos recentes com carboidratos absorvidos por diferentes transportadores relataram valores de até 1,75 g/min. A maior oxidação de carboidratos com a ingestão de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores foi acompanhada pelo aumento da distribuição de líquidos, melhorou a eficiência da oxidação e ainda apresentou menor probabilidade de desconforto gastrointestinal. Estudos também demonstraram a redução da fadiga e melhora na performance do exercício com a ingestão de carboidratos absorvidos por diferentes transportadores em comparação com um único tipo de carboidrato. Carboidratos absorvidos por diferentes transportadores, ingeridos em altas taxas, podem ser benéficos durante esportes de resistência onde a duração do exercício é de 2,5 horas ou mais. As diretrizes terão que ser ajustadas considerando estes resultados.

REFERÊNCIAS

- Bergström, J., L. Hermansen, E. Hultman, and B. Saltin (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* 71: 140-150. Burelle, Y., M.C. Lamoureux, F. Peronnet, D. Massicotte, and C. Lavoie (2006). Comparison of exogenous glucose, fructose and galactose oxidation during exercise using 13C-labelling. *Br. J. Nutr.* 96: 56-61.
- Cox, G.R., S.A. Clark, A.J. Cox, S.L. Halson, M. Hargreaves, J.A. Hawley, and L.M. Burke (2010). Daily training with high carbohydrate availability increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance cycling. *J. Appl. Physiol.* 109: 126-134.
- Currell, K., and A.E. Jeukendrup (2008). Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med. Sci. Sports Exerc.* 40: 275-281.
- Currell, K., J. Urch, E. Cerri, R.L. Jentjens, A.K. Blannin, and A.E. Jeukendrup (2008). Plasma deuterium oxide accumulation following ingestion of different carbohydrate beverages. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 33:1067-1072.
- Ferraris, R.P., and J. Diamond (1997). Regulation of intestinal sugar transport. *Physiol. Rev.* 77: 257-302. Hawley, J.A., A.N. Bosch, S.M. Weltan, S.D. Dennis, and T.D. Noakes (1994). Effects of glucose ingestion or glucose infusion on fuel substrate kinetics during prolonged exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 68:381-389.
- Hulston, C.J., G.A. Wallis, and A.E. Jeukendrup (2009). Exogenous CHO oxidation with glucose plus fructose intake during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 357-363.
- Jentjens, R.L., and A.E. Jeukendrup (2005). High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Br. J. Nutr.* 93: 485-492.
- Jentjens, R.L., L. Moseley, R.H. Waring, L.K. Harding, and A.E. Jeukendrup (2004a). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J. Appl. Physiol.* 96: 1277-1284.
- Jentjens, R.L., M.C. Venables, and A.E. Jeukendrup (2004b). Oxidation of exogenous glucose, sucrose, and maltose during prolonged cycling exercise. *J. Appl. Physiol.* 96:1285-1291.
- Jentjens, R.L., J. Achten, and A.E. Jeukendrup (2004c). High oxidation rates from combined carbohydrates ingested during exercise. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 36:1551-1558.
- Jentjens, R.L., K. Underwood, J. Achten, K. Currell, C.H. Mann and A.E. Jeukendrup (2006). Exogenous carbohydrate oxidation rates are elevated after combined ingestion of glucose and fructose during exercise in the heat. *J. Appl. Physiol.* 100: 807-816.
- Jeukendrup, A.E. (2003). Modulation of carbohydrate and fat utilization by diet, exercise and environment. *Biochem. Soc. Trans.* 31:1270-1273.
- Jeukendrup, A.E. (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 20: 669-677.
- Jeukendrup, A.E. (2008). Carbohydrate feeding during exercise. *Eur. J. Sport Sci.* 8: 77-86.
- Jeukendrup, A.E. (2010). Carbohydrate and exercise performance: the role of multiple transportable carbohydrates. *Curr. Opin. Clin. Nutr. Metab. Care*, 13:452-457.
- Jeukendrup, A. E. (2011). Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J. Sports Sci.* 29:Suppl 1, S91-99.
- Jeukendrup, A.E., and K.D. Tipton (2009). Legal nutritional boosting for cycling. *Curr. Sports Med. Rep.* 8: 186-191.
- Jeukendrup, A.E., and L. Moseley (2010). Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery *Scand. J. Med. Sci. Sports* 20:112-121.
- Jeukendrup, A.E., and J. McLaughlin (2011). Carbohydrate ingestion during exercise: effects on performance, training adaptations and trainability of the gut. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser*, 69, 1-12.
- Jeukendrup, A.E., M. Mensink, W.H.M. Saris, A.J.M. Wagenmakers (1997). Exogenous glucose oxidation during exercise in endurance-trained and untrained subjects. *J. Appl. Physiol.* 82:835-840.
- Jeukendrup, A.E., A. Raben, A. Gijsen, J.H. Stegen, F. Brouns, W.H.M. Saris, and A.J.M. Wagenmakers (1999). Glucose kinetics during prolonged exercise in highly trained human subjects: effect of glucose ingestion. *J. Physiol.* 515: 579-589.
- Jeukendrup, A.E., L. Moseley, G.I. Mainwaring, S. Samuels, S. Perry, and C.H. Mann (2006). Exogenous carbohydrate oxidation during ultraendurance exercise. *J. Appl. Physiol.* 100:1134-1141.
- Kellett, G.L. (2001). The facilitated component of intestinal glucose absorption. *J. Physiol.* 531: 585-595. Leijssen, D.P., W.H.M. Saris, A.E. Jeukendrup, and A.J.M. Wagenmakers (1995). Oxidation of exogenous [13C]galactose and [13C]glucose during exercise. *J. Appl. Physiol.* 79:720-725.
- Pirnay, F., J.M. Crielaard, N. Pallikarakis, M. Lacroix, F. Mosora, Krzentowski, G and P.J. Lefebvre (1982). Fate of exogenous glucose during exercise of different intensities in humans. *J. Appl. Physiol.* 53:1620-1624.
- Rodriguez, N.R., N.M. Di Marco, and S. Langley (2009). American College of Sports Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 41: 709-731.
- Rowlands, D.S., G.A. Wallis, C. Shaw, R.L. Jentjens, and A.E. Jeukendrup (2005). Glucose polymer molecular weight does not affect exogenous carbohydrate oxidation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37: 1510-1516.
- Rowlands, D.S., M.S. Thorburn, R.M. Thorp, S. Broadbent, and X. Shi (2008). Effect of graded fructose coingestion with maltodextrin on exogenous 14C-fructose and 13C-glucose oxidation efficiency and high-intensity cycling performance. *J. Appl. Physiol.* 104:1709-1719.
- Rowlands, D.S., M. Swift, M. Ros, J.G. Green (2012). Composite versus single transportable carbohydrate solution enhances race and laboratory cycling performance. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 37: 425-436.
- Triplett, D., J.A. Doyle, J.C. Rupp, D. Benardot (2010). An isocaloric glucosefructose beverage's effect on simulated 100-km cycling performance compared with a glucose-only beverage. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 20:122-131. van Loon, L.J., A.E. Jeukendrup, W.H.M. Saris, and A.L. M. Wagenmakers (1999).
- Effect of training status on fuel selection during submaximal exercise with glucose ingestion. *J. Appl. Physiol.* 87:1413-1420.
- Wallis, G.A., D.S. Rowlands, C. Shaw, R.L. Jentjens, and A.E. Jeukendrup (2005). Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:426-432.