

Enjeux d'actualité

Le fond de l'histoire



Les boissons pour sportifs : leur rôle dans l'hydratation et la performance athlétique

Les athlètes font partie d'un groupe de personnes particulièrement à risque de souffrir de déshydratation. De plus, une hydratation adéquate est essentielle, tant pour la santé que pour la performance (1, 2, 7-9). En fait, les conséquences sur la santé d'une déshydratation sévère peuvent être fatales pour les athlètes, particulièrement s'ils continuent de faire de l'exercice en étant déshydratés. Les conséquences de la déshydratation comprennent (1-7) :

- une augmentation de la température corporelle et du rythme cardiaque (de 0,15 à 0,2 °C, et de 3 à 5 battements par minute pour chaque 1 % de masse corporelle perdue);
- une diminution du volume plasmatique, du volume systolique et du débit cardiaque;
- une réduction de la tension artérielle moyenne;
- une perturbation du débit sanguin cutané;
- une diminution de la performance physique et mentale (à la suite d'une déshydratation d'aussi peu que 2 %);
- une augmentation de l'effort perçu et une diminution de la motivation.

Voici certains symptômes apparents de la déshydratation : rougeurs, soif, étourdissements, maux de tête, irritabilité, fatigue, désorientation, vomissements, nausées, sensations de chaud et de froid, frissons, crampes et apathie (1). Ces symptômes, ainsi que des effets cardiovasculaires et thermorégulateurs, peuvent apparaître à un niveau de déshydratation aussi faible que 1 à 3 %. Pour un athlète pesant 150 livres (68 kg), une déshydratation de l'ordre de 2 % signifierait une perte de 3 lb de liquides ou 1,36 l – un tel niveau de déshydratation n'est pas inhabituel chez les athlètes (1).

Les pertes de liquide par la sueur se situent habituellement entre 0,5 et 2,0 l par heure (1). Le taux de perte de liquide par la sueur varie chez un même individu et d'un individu à un autre. Il dépend de la durée et de l'intensité de l'exercice, des conditions environnementales et du niveau d'acclimatation de l'athlète (1). Les athlètes

doivent donc connaître leur taux de perte de liquide par la sueur en fonction de leurs conditions d'entraînement et de compétition normales. Se peser avant et après l'exercice offrira une indication de la quantité de liquide perdue pendant l'exercice. Tous les liquides consommés ou évacués par l'urine (entre les pesées) devraient être pris en considération. Le American College of Sports Medicine (ACSM), l'American Dietetic Association (ADA) et Les diététistes du Canada (DC) recommandent de boire pendant l'exercice afin de remplacer les pertes de liquide par la sueur et d'éviter une déshydratation de l'ordre de plus de 2 % de la masse corporelle.

Comment calculer le taux de sueur en l/h?

(poids corporel avant l'exercice (kg) - poids corporel après l'exercice (kg)) + apport en liquides (l) - volume urinaire (l)

Durée de l'exercice (heures)

Recommandations quant à l'hydratation

- Au moins 4 heures avant l'exercice, buvez tranquillement de 5 à 7 ml par kg de masse corporelle. Pour un athlète de 165 livres (75 kg), cela représente de 375 à 525 ml de liquide (1,2).
- Si au cours des deux heures suivantes il n'y a pas d'évacuation d'urine ou si l'urine est foncée et concentrée, buvez tranquillement de 3 à 5 ml supplémentaires par kg de masse corporelle (1).
- Pendant l'exercice – buvez une quantité environ équivalente à celle du liquide perdu par la sueur (1,2).
- Après l'exercice – buvez la quantité nécessaire pour compenser la perte de liquide qui n'a pu être comblée pendant l'exercice (1,2). Pour se remettre rapidement et complètement (si plus d'un entraînement ou d'une compétition surviennent la même journée), les athlètes

devraient boire de 450 à 675 ml (ou de 16 à 24 oz) pour chaque 0,5 kg (ou 1 lb) de poids (sueur) perdu. Cependant, si le temps le permet, des repas, des collations et des boissons consommés régulièrement aident à rétablir l'hydratation. Les aliments et les boissons contenant du sodium aident à la rétention de liquides et à la réhydratation (1,2).

La vidange gastrique et l'absorption intestinale sont des facteurs qui nuisent à l'entrée du liquide dans la circulation sanguine, et ces fonctions sont ralenties pendant la pratique d'activités physiques de grande intensité (10-12). Les troubles gastro-intestinaux sont des problèmes courants chez les athlètes. Ils sont accentués par le stress psychologique et une déshydratation sévère (12-15). De plus, les recherches démontrent que, souvent, les athlètes ne compensent pas adéquatement les pertes de liquide engendrées par la sueur (16-18). Les boissons pour sportifs doivent donc être conçues en tenant compte de cette réalité.

Le rôle des ingrédients contenus dans les boissons pour sportifs

▪ L'eau

- La plupart des boissons pour sportifs sont constituées de 90 à 96 % d'eau, et ce, dans le but de remplacer les pertes engendrées par la sueur.
- La carbonatation devrait être évitée, puisqu'en causant une sensation de satiété et des ballonnements, elle peut limiter la consommation volontaire de liquide (19).

▪ La saveur

- L'ajout d'une saveur délicate augmente la palatabilité et la consommation volontaire, ce qui favorise l'hydratation (6, 20-21).

▪ Les électrolytes

- Les électrolytes sont importants pour une conduction nerveuse et musculaire adéquate et pour assurer une distribution appropriée des liquides aux tissus de l'organisme (1-2, 9, 22).

▪ Le sodium

- Le sodium est le principal électrolyte perdu dans la sueur. La concentration de sodium dans la sueur se situe entre 20 et 80 mmol/l (soit de 460 à 1840 mg/l) (22).
- Dans les boissons pour sportifs, le sodium peut aider à :
 - remplacer les pertes de liquide engendrées par la sueur (23);
 - prévenir les crampes musculaires (24);
 - stimuler la consommation volontaire de liquide par le rehaussement de la saveur et la stimulation osmotique de la soif (6, 16, 25-26);
 - rétablir la distribution des liquides dans l'espace extracellulaire (1);
 - diminuer les pertes d'urine (27-29);
 - prévenir les baisses de concentrations du sodium sérique (23).
- Il a été prouvé que l'eau réduit la sensation de soif avant même que l'équilibre du liquide dans le corps ne soit complètement rétabli (30).
- Les boissons pour sportifs devraient contenir au moins de 0,3 à 0,7 g de sodium par litre. Les athlètes pratiquant des activités d'ultraendurance ou sujets aux crampes pourraient avoir besoin d'une plus grande quantité de sodium afin de prévenir les crampes musculaires et l'hyponatrémie* (1-2, 9, 24, 31-32).

**L'hyponatrémie est une condition extrêmement rare, mais potentiellement fatale, qui est caractérisée par une chute du sodium sérique sous 135 mmol/l. Les athlètes doivent comprendre qu'il ne faut pas consommer plus de liquide que la quantité recommandée et doivent connaître leur taux de sueur afin de consommer l'équivalent du liquide perdu par la sueur. Une surhydratation n'est pas bénéfique et peut être dangereuse pour l'athlète (32).*

▪ **Le potassium**

- Le potassium est également perdu par la sueur, en concentration moyenne de 5 mmol/l (195 mg/l), et est ajouté aux boissons pour sportifs pour compenser les pertes dues à la sueur (22).

▪ **Autres électrolytes**

- Du magnésium, du chlorure et du calcium sont également évacués par la sueur et sont ajoutés à bon nombre de boissons pour sportifs afin de compenser les pertes engendrées par la sueur.
- Cependant, d'autres recherches sont nécessaires afin de déterminer si l'ajout de ces minéraux est bénéfique au fonctionnement physiologique pendant l'exercice.

▪ **Les glucides**

- L'ajout de glucides aux boissons pour sportifs remplit de nombreuses fonctions importantes :
 - l'augmentation de la consommation volontaire de liquide, puisque les boissons sucrées ont une meilleure palatabilité (6, 20);
 - l'aide au maintien des taux de glucose sanguin pour l'approvisionnement des muscles et le soutien du système nerveux central (33-46);
 - l'aide au maintien du taux d'oxydation des glucides (40-41, 43-45);
 - l'amélioration de la performance athlétique (la section suivante fournit davantage d'information à ce sujet).
 - La consommation de 30 à 60 grammes de glucides par heure est donc recommandée (1-2, 22, 47).
- Ces bienfaits associés aux glucides ne surviendront que si le liquide contenant les glucides quitte rapidement le tube gastro-intestinal pour entrer dans la circulation

sanguine. Pour ce faire, la boisson pour sportifs doit contenir les éléments suivants :

▪ **Une concentration en glucides de**

4 à 8 %. En comparaison avec les boissons à plus faible concentration en glucides, les boissons pour lesquelles la concentration en glucides est de plus de 8 % ralentissent la vidange gastrique et l'absorption intestinale lors de l'exercice (48-54). Les boissons contenant entre 4 et 8 % de glucides peuvent être vidangées et absorbées aussi rapidement que l'eau (10, 55-56).

- Pour déterminer la concentration en glucides d'une boisson, divisez la quantité de glucides (g) par le volume de liquide (ml).

Par exemple :

$$\frac{15 \text{ g de glucides}}{250 \text{ ml}} \times 100 = 6,0 \%$$

- **Plusieurs types de glucides.** La vitesse d'absorption intestinale augmente quand la boisson pour sportifs comprend plusieurs types de glucides; par exemple, le glucose, le saccharose, le fructose, les polymères de glucose et la maltodextrine. De plus, il appert que le taux maximal d'oxydation des glucides exogènes de 1 g/min subit une augmentation allant jusqu'à 25 % lorsque de multiples substrats de glucides sont ingérés pendant l'exercice. Cela est probablement dû à l'activation de différents transporteurs de glucides dans l'intestin (57-60).

▪ **De faibles concentrations de fructose.**

Les boissons pour sportifs ne devraient pas contenir plus de 2 à 3 % de fructose afin de prévenir les inconforts gastro-intestinaux. En effet, une quantité élevée de fructose dans l'intestin peut causer un effet osmotique (2, 61). Toutefois, les boissons pour sportifs comprenant différents types de glucides semblent améliorer l'absorption intestinale et l'oxydation des glucides exogènes par rapport aux boissons qui ne comprennent

qu'un seul type de glucide (57-60, 62-63). Dans une boisson pour sportifs, de petites quantités de fructose peuvent donc être bénéfiques si elles sont combinées à d'autres types de glucides.

Les glucides et la performance

Les effets d'une supplémentation en glucides pendant l'exercice sont étudiés depuis des décennies (22, 47). Heureusement, bon nombre d'études ont utilisé les boissons pour sportifs comme véhicule pour l'administration des glucides, ce qui permet de dresser un grand nombre de conclusions quant à l'efficacité de ces boissons sur la performance physique. Plus particulièrement, il a été démontré que la supplémentation en glucides durant l'exercice procure les bienfaits à l'entraînement et à la performance suivants :

- Pendant un exercice d'endurance prolongé :
 - Diminution du niveau d'effort perçu (64-65)
 - Prolongation du délai avant l'épuisement (11, 40-43, 66-68)
 - Augmentation de la rapidité aux tests chronométriques (33, 44-45).
- Au cours d'un exercice à intensité élevée et d'un exercice à intensité élevée intermittent :
 - Diminution du niveau d'effort et de fatigue perçu (39, 69-70)
 - Prolongation du délai avant l'épuisement (36-37, 39, 69, 71)
 - Augmentation de la rapidité aux tests chronométriques et dans les sprints (35, 38-39, 69, 72)
 - Amélioration des habiletés motrices fines (69)
 - Amélioration de la puissance fournie (73-74).

Certaines de ces améliorations de la performance ont été observées au cours d'activités d'une durée de moins de 60 minutes (35, 69, 72, 74). Certains bienfaits, comme la prolongation du délai avant l'épuisement, peuvent ne pas s'appliquer à la compétition, mais ils permettent aux athlètes de s'entraîner plus longtemps et avec plus d'intensité, ce qui pourrait se traduire par une amélioration de la performance en compétition en raison d'une réponse à l'entraînement améliorée. De plus, les

athlètes qui disposent de moins d'une journée entre les compétitions pourraient tout particulièrement tirer avantage des boissons pour sportifs par rapport à l'eau, puisque celles-ci fournissent un meilleur ravitaillement en glucides et engendrent une meilleure rétention des liquides grâce aux électrolytes qu'elles contiennent (75).

Il importe également de noter que certaines études sur la supplémentation en glucides n'ont pas indiqué d'effets ergogéniques. Beaucoup de facteurs influencent la performance sportive, ce qui rend le contrôle de ces études difficile. De plus, les protocoles de performance présentent des niveaux de sensibilité variés (47). Toutefois, la majorité des études soutiennent l'effet ergogénique d'une supplémentation en glucides sur la performance physique (11, 33, 35-45, 64-74).

Résumé

La consommation de boissons pour sportifs peut être bénéfique si l'exercice :

- dure plus de 45 à 50 minutes;
- est très intense;
- est pratiqué dans un climat chaud ou humide;
- exige de porter un équipement de protection;
- est d'intensité élevée (ce qui comprend les exercices intermittents) ou d'endurance prolongée.

Les boissons pour sportifs devraient contenir :

- au moins de 0,3 à 0,7 g de sodium par litre;
- une concentration en glucides de 4 à 8 %;
- plusieurs types de glucides.

Les athlètes devraient connaître leur taux de sueur, remplacer les pertes de liquide et d'électrolytes, et opter pour des boissons pour sportifs lorsque nécessaire.

Écrit par Heather Petrie, M. Sc., Dt.P. et révisé par Jennifer Sygo, M. Sc., Dt.P. et Heidi Smith B. Sc., Dt.P.

References:

- 1) American College of Sports Medicine, Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(2):377-90
- 2) Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. In press.
- 3) Chevront SN, Carter R, Sawka MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep* 2003;2:202-208.
- 4) McGregor SJ, Nicholas CW, Lakomy HK et al. The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill. *J Sports Sci* 1999;17:895-903.
- 5) Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Coyle EF. Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol* 2000;278:H321-H330.
- 6) Gonzalez-Alonso J, Mora-Rodriguez R, Below PR et al. Dehydration reduces cardiac output and increases systemic and cutaneous vascular resistance during exercise. *J Appl Physiol* 1995;79:1487-1496.
- 7) Montain SJ, Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 1992;73:1340-1350.
- 8) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate. Washington, D.C.: National Academies Press; 2004
- 9) Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and The American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. In press.
- 10) Leiper JB, Nicholas CW, Ali A et al. The effect of intermittent high-intensity running on gastric emptying of fluids in man. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:240-7.
- 11) Maughan RJ, Bethell LR, Leiper JB. Effects of ingested fluids on exercise capacity and on cardiovascular and metabolic responses to prolonged exercise in man. *Exp Physiol* 1996;81:847-859.
- 12) Neuffer PD, Young AJ, Sawka MN. Gastric emptying during exercise: effects of heat stress and hypohydration. *Eur J Appl Physiol* 1989;58:433-439.
- 13) van Nieuwenhoven MA, Vriens BEPJ, Brummer RJM et al. Effect of dehydration on gastrointestinal function at rest and during exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 2000;83:578-584.
- 14) Rehrer NJ, Beckers EJ, Brouns F et al. Effects of dehydration on gastric emptying and gastrointestinal distress while running. *Med Sci Sports Exerc* 1990;22:790-795.
- 15) Rehrer NJ, Janssen GM, Brouns F et al. Fluid intake and gastrointestinal problems in runners competing in a 25-km race and a marathon. *Int J Sports Med* 1989;10:s22-s25.
- 16) Greenleaf JE. Problem: thirst, drinking behavior, and involuntary dehydration. *Med Sci Sports Exerc.* 1992;24:645-656.
- 17) Iuliano S, Naughton G, Collier G et al. Examination of the self-selected fluid intake practices by junior athletes during a simulated duathlon event. *Int J Sport Nutr* 1998;8:10-23.
- 18) Stover EA, Zachwieja JJ, Stofan JR et al. Consistently high urine specific gravity in adolescent American football players and the impact of an acute drinking strategy. *Int J Sports Med* 2006;26:27(4):330-5.
- 19) Passe DH, Horn M, Murray R. The effects of beverage carbonation on sensory responses and voluntary fluid intake following exercise. *Int J Sport Nutr* 1997;7:286-297.
- 20) Clapp AJ, Bishop PA, Walker JL. Fluid replacement preferences in heat-exposed workers. *AIHA Journal* 1999;60:747-751.
- 21) Szlyk PC, Sils IV, Francesconi RP et al. Effects of water temperature and flavoring on voluntary dehydration in men. *Physiol Behav* 1989;45:639-647.
- 22) Coyle EF. Fluid and fuel intake during exercise. *J Sports Sci* 2004;22:39-55.
- 23) Vrijens DMJ, Rehrer NJ. Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat. *J Appl Physiol* 1999;86:1847-1851.
- 24) Bergeron MF. Heat cramps during tennis: a case report. *Int J Sport Nutr* 1996;6:62-68.
- 25) Passe DH, Horn M, Murray R. Impact of beverage acceptability on fluid intake during exercise. *Appetite* 2000;35:219-229.
- 26) Wilk B, Bar-Or O. Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking and hydration in boys exercising in the heat. *J Appl Physiol* 1996;80:1112-1117.
- 27) Gonzalez-Alonso J, Heaps CL, Coyle EF. Rehydration after exercise with common beverages and water. *Int J Sports Med* 1992;13:399-406.
- 28) Nose H, Mack GW, Shi XR et al. Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J Appl Physiol* 1988;65:325-331.
- 29) Maughan RJ, Owen JH, Shirreffs SM et al. Post-exercise rehydration in man: effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1994;69:209-215.

- 30) Rolls BJ, Wood RJ, Rolls ET et al. Thirst following water deprivation in humans. *Am J Physiol* 1980;239:r476-482.
- 31) Stofan JR, Zachwieja JJ, Horswill CA et al. Sweat sodium losses in NCAA Division I football players with a history of whole-body muscle cramping. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:s48.
- 32) Hsieh M. Recommendations for treatment of hyponatremia at endurance events. *Sports Med* 2004;34:231-238.
- 33) Davis JM, Lamb DR, Pate RR et al. Carbohydrate-electrolyte drinks: effects on endurance cycling in the heat. *Am J Clin Nutr* 1988;48:1023-1030.
- 34) Davis JM, Jackson DA, Broadwell MS et al. Carbohydrate drinks delay fatigue during intermittent, high-intensity cycling in active men and women. *Int J Sport Nutr* 1997;7:261-273.
- 35) Murray R, Seifert JG, Eddy DE et al. Carbohydrate feeding and exercise: effect of beverage carbohydrate content. *Eur J Appl Physiol* 1989;59:152-158.
- 36) Davis JM, Welsh RS, DeVolve KL et al. Effects of branched-chain amino acids and carbohydrate on fatigue during intermittent, high-intensity running. *Int J Sports Med* 1999;20:309-314.
- 37) Davis JM, Welsh RS, Alderson NA. Effects of carbohydrate and chromium ingestion during intermittent high-intensity exercise to fatigue. *Int J Sport Nutr* 2000;10:476-485.
- 38) Murray R, Eddy DE, Murray TW et al. The effect of fluid and carbohydrate feedings during intermittent cycling exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1987;19:597-604.
- 39) Murray R, Paul GL, Seifert JG et al. Responses to varying rates of carbohydrate ingestion during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1991;23:713-718.
- 40) Kang J, Robertson RJ, Denys BG et al. Effect of carbohydrate ingestion subsequent to carbohydrate supercompensation on endurance performance. *Int J Sport Nutr* 1995;5:329-343.
- 41) Coggan AR, Coyle EF. Metabolism and performance following carbohydrate ingestion late in exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:59-65.
- 42) Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK et al. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 1986;61:165-172.
- 43) Wright DA, Sherman WM, Dernbach AR. Carbohydrate feedings before, during, or in combination improve cycling endurance performance. *J Appl Physiol* 1991;71:1082-1088.
- 44) Langenfeld ME, Seifert JG, Rudge SR et al. Effect of carbohydrate ingestion on performance of non-fasted cyclists during a simulated 80-mile time trial. *J Sports Med Phys Fitness* 1994;34:263-270.
- 45) Angus DJ, Hargreaves M, Dancy J et al. Effect of carbohydrate or carbohydrate plus medium-chain triglyceride ingestion on cycling time trial performance. *J Appl Physiol* 2000;88:113-119.
- 46) Carter JM, Jeukendrup AE, Jones DA. The effect of carbohydrate mouth rinse on 1-h cycle time trial performance. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:2107-2111.
- 47) Jeukendrup AE. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition* 2004;20:669-677.
- 48) Murray R, Bartoli W, Stofan J et al. A comparison of the gastric emptying characteristics of selected sports drinks. *Int J Sport Nutr* 1999;9:263-274.
- 49) Davis JM, Burgess WA, Slentz CA et al. Effects of ingesting 6% and 12% glucose/electrolyte beverages during prolonged intermittent cycling in the heat. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1988;57:563-569.
- 50) Vist GE, Maughan RJ. The effect of osmolality and carbohydrate content on the rate of gastric emptying of liquids in man. *J Physiol* 1995;486:523-531.
- 51) Shi X, Summers RW, Schedl HP et al. Effects of carbohydrate type and concentration and solution osmolality on water absorption. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:1607-1615.
- 52) Ryan AJ, Bleiler TL, Carter JE et al. Gastric emptying during prolonged cycling exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:51-58.
- 53) Gisolfi CV, Summers RW, Schedl HP et al. Intestinal water absorption from select carbohydrate solutions in humans. *J Appl Physiol* 1992;73:2142-2150.
- 54) Murray R, Bartoli WP, Eddy DE et al. Gastric emptying and plasma deuterium accumulation following ingestion of water and two carbohydrate-electrolyte beverages. *Int J Sport Nutr* 1997;7:144-153.
- 55) Gisolfi CV, Summers RW, Lambert GP et al. Effect of beverage osmolality on intestinal fluid absorption during exercise. *J Appl Physiol* 1998;85:1941-1948.
- 56) Lambert GP, Chang RT, Xia T et al. Absorption from different intestinal segments during exercise. *J Appl Physiol* 1997;83:204-212.
- 57) Jentjens RLPG, Venables MC, Jeukendrup AE. Oxidation of exogenous glucose, sucrose, and maltose during prolonged cycling exercise. *J Appl Physiol* 2004;96:1285-1291.
- 58) Jentjens RLPG, Moseley L, Waring RH et al. Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J Appl Physiol* 2004;96:1277-1285.
- 59) Wallis GA, Rowlands DS, Shaw C et al. Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 2005;37:426-432.
- 60) Jentjens RL, Jeukendrup AE. High rates of exogenous carbohydrate oxidation from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Br J Nutr* 2005;93:485-492.
- 61) Murray R, Paul GL, Seifert JG et al. The effects of glucose, fructose, and sucrose ingestion during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1989;21:275-282.
- 62) Galloway SDR, Wootton SA, Murphy JL et al. Exogenous carbohydrate oxidation from drinks ingested during prolonged exercise in a cold environment in humans. *J Appl Physiol* 2001;91:654-660.

- 63) Shi X, Schedl HP, Summers RM et al. Fructose transport mechanism in humans. *Gastroenterology* 1997;113:1171-1179.
- 64) Utter A, Kang J, Nieman D et al. Effect of carbohydrate substrate availability on ratings of perceived exertion during prolonged running. *Int J Sport Nutr* 1997;7:274-285.
- 65) Utter AC, Kang J, Nieman DC et al. Carbohydrate supplementation and perceived exertion during prolonged running. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:1036-1041.
- 66) Fielding RA, Costill DL, Fink WJ et al. Effect of carbohydrate feeding frequencies and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1985;17:472-476.
- 67) Hargreaves M, Costill DL, Coggan A et al. Effect of carbohydrate feedings and muscle glycogen utilization and exercise performance. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:219-222.
- 68) Coyle EF, Hagberg JM, Hurley BF et al. Carbohydrate feeding during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J Appl Physiol* 1983;55:230-235.
- 69) Welsh RS, Davis JM, Burke JR et al. Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:723-731.
- 70) Utter AC, Kang J, Nieman DC et al. Effect of carbohydrate ingestion and hormonal responses on ratings of perceived exertion during prolonged cycling and running. *Eur J Appl Physiol* 1999;80:92-99.
- 71) Nicholas CW, Williams C, Phillips G et al. Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution on endurance capacity during intermittent high-intensity shuttle running. *J Sports Sci* 1995;13:283-290.
- 72) Below PR, Mora-Rodriguez R, Gonzalez-Alonso J et al. Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1 h of intense exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27:200-210.
- 73) Fritzsche RG, Switzer TW, Hodgkinson BJ et al. Water and carbohydrate ingestion during prolonged exercise increase maximal neuromuscular power. *J Appl Physiol* 2000;88:730-737.
- 74) Ball TC, Headley SA, Vanderburgh PM et al. Periodic carbohydrate replacement during 50 min of high-intensity cycling improves subsequent sprint performance. *Int J Sport Nutr* 1995;5:151-158.
- 75) Wong SH, Williams C, Adams N. Effects of ingesting a large volume of carbohydrate-electrolyte solution on rehydration during recovery and subsequent exercise capacity. *Int J Sport Nutr* 2000;10:375-393.