

Hydrates de carbone et performance sportive

Résumé

Nombreuses sont les études ayant démontré le rôle primordial que jouent les hydrates de carbone dans l'alimentation du sportif, tant dans la phase de récupération après l'entraînement, que dans l'obtention de performances sportives. Le but de cette revue est d'apporter des conseils pratiques en matière de supplémentation en hydrates de carbone. Les conditions qui nécessitent une supplémentation en hydrates de carbone, le timing de cette supplémentation, ainsi que la quantité et le type d'hydrates de carbone à utiliser avant, pendant et après l'exercice seront également discutés.

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 44 (2), 63–66, 1996

Une alimentation variée et contenant des quantités adéquates de nutriments (protéines, hydrates de carbone, acides gras essentiels, fibres, vitamines et minéraux) est essentielle à l'optimisation de la performance physique. A cet égard, les hydrates de carbone sont considérés comme le type de nutriment le plus important dans l'alimentation du sportif car ils constituent l'unique source d'énergie pouvant soutenir une activité musculaire intense sur une période relativement prolongée, bien que les réserves d'hydrates de carbone contenues dans notre organisme soient limitées. Étant donné l'activité physique considérable effectuée quotidiennement par de nombreux athlètes, ces derniers sont fréquemment sous-alimentés en hydrates de carbone, avec comme conséquence majeure des difficultés dans l'accomplissement de leur entraînement et dans l'obtention de performances [1].

L'importance des hydrates de carbone, en tant que substrat pour la contraction musculaire, est reconnue depuis de nombreuses années [23]. Dans les années 30, Christensen et Hansen démontrèrent déjà l'importance de l'utilisation des hydrates de carbone lors d'exercices prolongés et de leur efficacité alimentaire sur la performance d'épreuves d'endurance [3, 4]. Plus tard, ces études furent élargies par biopsies dans les muscles chez des individus volontaires, permettant ainsi l'étude du métabolisme du glycogène musculaire lors d'exercices physiques [5, 6]. Ces études démontrèrent le rôle essentiel du glycogène musculaire lors de performances d'endurance et l'importance d'une alimentation enrichie en hydrates de carbone avant l'accomplissement d'exercices prolongés. Depuis lors, de nombreuses études ont été entreprises et ont démontré qu'une utilisation adéquate des hydrates de carbone est essentielle pour l'accomplissement d'exercices intenses et l'obtention de performances athlétiques [7].

Types d'hydrates de carbone et index glycémiques

Comme leur nom l'indique, les hydrates de carbone sont des molécules contenant du carbone dans un rapport d'hydrogène et d'oxygène comparable à celui trouvé dans l'eau (c.-à-d. CH_2O). Les hydrates de carbone contenus dans la nourriture ont été classifiés sur la base de leurs structures chimiques. On distingue les hydrates de carbone simples (monosaccharides, disaccharides) tels que le glucose, le fructose et le saccharose, et les hydrates de carbone complexes (polysaccharides), tels que l'amidon.

Dans le passé, on pensait que ces différents types de structures chimiques suffisaient à prévoir la concentration de glucose sanguin et par conséquent la libération de l'insuline après l'ingestion d'ali-

Summary

Numerous studies have demonstrated the major role of carbohydrates in an athlete's diet, not only as a determinant in the post training recovery, but also in the successful athletic performance. The purpose of this review is to bring practical recommendations in terms of carbohydrates supplementation. We will discuss the conditions which require carbohydrates supplementation, as well as the amount, the type and the timing of this carbohydrate supplementation before, during and after exercise.

ments contenant des hydrates de carbone; les hydrates de carbone simples produisant une élévation rapide puis une diminution du glucose et de l'insuline (simple = rapide), les hydrates de carbone complexes entraînant une réponse modérée (complexe = lent). A l'heure actuelle, cette conception est totalement erronée. Des travaux récents ont démontré que les aliments contenant des hydrates de carbone entraînent des réponses métaboliques variables basées sur des facteurs qui influencent leur digestion et leur absorption. Afin de tenir compte de ces variations métaboliques, les hydrates de carbone sont désormais classés en fonction de l'amplitude avec laquelle ils augmentent la concentration de glucose sanguin (c.-à-d. selon leur index glycémique) et stimulent la sécrétion d'insuline qui reflète la quantité de glucose entrant dans le sang. Ces études ont montré qu'il est tout à fait possible d'avoir à la fois des hydrates de carbone simples (par ex. le glucose) et complexes (par ex. pommes de terre au four et maltodextrines) qui sont facilement absorbés et par conséquent ont un index glycémique élevé [8–11]. De plus, certains hydrates de carbone simples ont un index glycémique bas (par ex. le fructose) [10]. Cette classification des aliments en index glycémiques élevés, intermédiaires et bas, est disponible sous forme de tableaux pour des recommandations pratiques [10, 11].

Stockage des hydrates de carbone dans l'organisme

Le glycogène est la forme principale de réserve de glucose dans les tissus d'origine animale et diffère peu de l'amidon des plantes. La majorité des hydrates de carbone ingérés entrent dans le sang sous forme de glucose. Lorsque notre organisme est au repos, le glucose est dirigé vers des sites de stockage où il sera transformé en glycogène, polymère formé d'un mélange d'unités de glucose liées en positions alpha 1,4 et 1,6. Le foie contient la plus grande concentration de glycogène (approximativement 250 mmole par kg). Cependant, les réserves de glycogène des muscles squelettiques sont plus élevées que celle du foie, la masse musculaire représentant 40 à 50 % du poids du corps. La concentration musculaire en glycogène (20–200 mmole par kg de muscle) est principalement influencée par l'exercice, l'ingestion d'hydrates de carbone et le niveau d'entraînement.

Le principal rôle des réserves de glycogène hépatique est de maintenir un niveau sanguin de glucose constant entre les repas afin d'assurer un approvisionnement énergétique aux organes qui sont totalement dépendant du glucose (cerveau et système nerveux central, cellules sanguines, reins). Au repos, ces tissus utilisent approximativement 75 % du glucose périphérique, le reste étant utilisé

par les muscles squelettiques. La majorité du glucose provenant du foie est dérivé de la glycolyse (75 %), mais une part non négligeable provient aussi de la gluconéogenèse (25 %), cette dernière proportion augmentant lors d'exercices prolongés ou pendant une période de jeûne. Le glycogène musculaire a une fonction négligeable dans le maintien de l'homéostasie du glucose sanguin au repos. Sa principale fonction est l'approvisionnement énergétique pendant l'activité physique.

Utilisation des hydrates de carbone durant l'exercice

Pour un exercice durant plus de 2 heures, ce sont d'abord les réserves musculaires de glycogène qui seront mobilisées [12-16]. Quand ces dernières diminuent, le glucose sanguin devient alors la principale source d'hydrate de carbone pour les muscles en activité [12-15]. Le glycogène hépatique, la gluconéogenèse (formation de glucose) à partir d'acides aminés [17] et l'apport diététique exogène en hydrates de carbone, deviennent alors la source principale d'énergie pour l'activité musculaire. Quand la concentration en glucose sanguin atteint une valeur inférieure au niveau physiologique (< 70 mg/dl) et que le glycogène des muscles est épuisé, la fatigue apparaît.

Resynthèse du glycogène musculaire après l'exercice

La restauration du glycogène dans les muscles, après un entraînement intensif ou une compétition, dictera le temps nécessaire à l'accomplissement d'une séance d'exercices ultérieure. Il est communément admis que le glycogène musculaire est épuisé après environ 2 à 3 heures d'un exercice continu effectué à une intensité de l'ordre de 60 à 80 % VO_2 maximum. Cependant cette situation peut également se rencontrer 15 à 30 minutes après un exercice intensif (90-130 % VO_2 max.) effectué à raison d'intervalles d'1 à 5 minutes, et suivi d'une période de repos, etc... [18].

Lors de la pratique d'exercices intensifs par des athlètes, la concentration en glycogène musculaire passe de 130 mmole à environ 30 mmole par kg de muscle. Le taux de resynthèse en glycogène musculaire après ce type d'effort représente environ 5 mmole par heure, soit seulement 5 % de la perte totale engendrée par l'exercice (5 mmole/100 mmole), si l'on tient compte d'une récupération totale de la concentration initiale de glycogène (130 mmole par kg). Par conséquent, il faudra au minimum 20 heures pour restaurer les réserves de glycogène musculaire, et ce, à condition d'avoir une alimentation optimale en hydrates de carbone [1]. Afin d'atteindre cet objectif, les facteurs diététiques importants à considérer sont les suivants : a) quantité nécessaire d'hydrates de carbone à ingérer, b) type d'hydrates de carbone à utiliser, c) moment auquel ces hydrates de carbone doivent être absorbés après l'exercice.

Quantité, type, timing de l'ingestion d'hydrates de carbone et resynthèse de glycogène

En se basant sur les études de Blom et al. [19] et Ivy et al. [20, 21], la resynthèse de glycogène musculaire, après un exercice, est optimale (5-7 % par kg par heure) lorsqu'au moins 50 g de glucose sont absorbés toutes les deux heures. D'autre part, durant les deux premières heures qui suivent un effort, le taux de resynthèse de glycogène musculaire est de l'ordre de 7-8% par kg/heure [21]. Le fait d'ingérer une quantité plus importante d'hydrates de carbone ne semble apporter aucun avantage [19, 20]. Suite à ces observations, on pourrait penser qu'il est préférable de faire de petits repas fréquents afin d'obtenir une quantité suffisante d'hydrates de carbone (c.-à-d. > 600 g par jour pour une personne pesant 70 kg). Cependant Costill et al. [22] ont montré que la synthèse de glycogène sur une période de 24 heures est la même après avoir mangé une quantité équivalente d'hydrates de carbone répartie en deux repas importants ou en sept petites portions.

En ce qui concerne le type d'hydrates de carbone à consommer pour optimiser la resynthèse de glycogène musculaire après l'exercice, les études démontrent que les sucres (simples ou com-

plexes) à index glycémique élevé ou intermédiaire produisent, après ingestion, un taux équivalent de resynthèse de glycogène, contrairement aux hydrates de carbone à index glycémique bas (fructose), dont l'ingestion entraîne seulement un taux de glycogène resynthétisé de 3 % par heure [19, 10, 11]. Peu de données sont disponibles sur le taux de resynthèse de glycogène après l'ingestion d'autres hydrates de carbone à index glycémique bas. Un certain nombre de fruits ont un index glycémique bas car ils contiennent du fructose dont la conversion en glucose est relativement lente. Les légumes possèdent un index glycémique bas principalement car les hydrates de carbone qu'ils contiennent sont moins accessibles aux enzymes digestives, facteur qui peut être influencé par la préparation et la cuisson. Par conséquent, l'ingestion d'hydrates de carbone à index glycémique bas requiert 20 à 44 heures pour atteindre un taux optimal de glycogène musculaire. Cependant dans l'attente de données plus fiables, il est conseillé d'éviter la prise d'hydrates de carbone à index glycémique bas dans les premières heures qui suivent la fin d'une séance d'exercices. D'autre part on estime que pas plus d'un tiers d'hydrates de carbone ne devrait provenir d'aliments à index glycémique bas, lorsque le but est d'optimiser la resynthèse de glycogène musculaire.

Il est bien connu qu'immédiatement après un effort intensif, les athlètes n'ont généralement pas d'appétit. Dès lors, l'utilisation de boissons contenant du glucose ou des maltodextrines offrent une solution pratique. Cependant il n'y a aucune raison qui empêche un athlète de manger des aliments sous forme solide. En effet, Keiser et al. [18] ont montré qu'il existe peu de différence entre la consommation d'hydrates de carbone sous forme liquide ou solide lorsqu'ils ont un index glycémique élevé ou intermédiaire. Les athlètes devraient manger suffisamment afin d'assurer au moins 7 à 10 g d'hydrates de carbone par kg de poids de corps par jour. D'autre part ils devraient éviter des repas qui contiennent moins de 70 % de calories provenant des hydrates de carbone et qui ont donc un contenu riche en protéines et en graisses. Ceci est particulièrement valable durant les 6 premières heures suivant un exercice, si le laps de temps jusqu'à la prochaine séance d'entraînement est insuffisant, car l'appétit est diminué, la vidange gastrique ralentit, et l'absorption d'hydrates de carbone est limitée.

Optimalisation de la concentration de glycogène avant la compétition

De nombreuses études ont démontré qu'une concentration plus élevée en glycogène musculaire est associée à une meilleure performance physique [12-15, 24]. Dans le but d'optimiser la concentration de glycogène musculaire lors d'une compétition intense et prolongée, les athlètes peuvent modifier leur alimentation et leur entraînement. Deux types de régimes alimentaires ont été utilisés dans le but d'optimiser les réserves musculaires de glycogène.

a) Le régime classique (selon Astrand)

Ce type de régime est basé sur une période de réduction du glycogène (l'athlète s'entraîne intensivement et absorbe une quantité d'hydrates de carbone correspondant à environ 10 % ou moins des calories quotidiennes), suivie d'une période de recharge en glycogène (l'athlète absorbe une grande quantité d'hydrates de carbone de l'ordre de 80 à 90 % des calories quotidiennes et réduit drastiquement l'entraînement) [23]. Ce régime permet d'augmenter la concentration musculaire de glycogène et d'améliorer la performance d'exercices aérobiques prolongés. Cependant, ce régime est très stressant pour de nombreux athlètes et peut entraîner des perturbations métaboliques [24].

b) Le régime de Sherman et Costill

Cette seconde méthode de surcompensation en hydrates de carbone est de loin la préférable. Elle consiste à absorber une importante quantité quotidienne d'hydrates de carbone (60 à 70 % des calories quotidiennes, correspondant à une quantité de l'ordre de 7 à 10 g d'hydrates de carbonés par kilo de poids de corps) dans le but

d'optimiser la concentration musculaire de glycogène. En vue d'une compétition, on commencera à diminuer progressivement l'entraînement durant la semaine qui précède l'épreuve (diminution de la moitié de l'entraînement tous les 2 jours à partir d'une semaine avant l'épreuve, de sorte que l'athlète ne s'entraîne pas le jour qui précède l'épreuve). Les études ont démontré que cette méthode est aussi efficace que celle d'Astrand pour augmenter la concentration musculaire de glycogène et améliorer la performance physique [12-16, 24-25]. De plus cette technique de manipulation diététique est simple, pratique et évite à l'athlète le stress de devoir maintenir son niveau d'entraînement, tout en consommant une alimentation principalement constituée de graisses.

Nutrition pré-compétitive

Bien qu'il soit largement admis que les athlètes doivent absorber des hydrates de carbone le jour précédant la compétition, il semble qu'il n'y ait pas toujours un consensus quant à savoir quelle quantité, quel type et à quel moment des hydrates de carbone doivent être absorbés durant les heures qui précèdent une épreuve.

Le but visé lorsqu'on absorbe des hydrates de carbone juste avant une compétition est d'optimiser l'approvisionnement musculaire de glycogène et de glucose sanguin tardivement dans l'accomplissement de l'exercice. Bien qu'il ait été démontré que l'absorption d'hydrates de carbone durant l'heure qui précède le commencement d'un exercice modérément intense peut abaisser la concentration de glucose sanguin, cette diminution en glucose est sans conséquence [26-27] ou bénéfique [28-29] pour la performance physique. Par conséquent, l'idée que l'ingestion de sucre avant une épreuve sportive puisse être néfaste pour la performance physique semble peu probable.

L'accumulation d'évidences suggère que la performance sportive est améliorée lorsqu'au minimum 200 g ou plus d'hydrates de carbone à index glycémique élevé ou intermédiaire sont absorbés durant les 3 heures qui précèdent une épreuve [30]. Cette amélioration est probablement liée au maintien de la capacité élevée d'oxydation des hydrates de carbone tardivement dans l'accomplissement de l'exercice.

Par conséquent, il est généralement recommandé d'ingérer 200 à 300 g d'hydrates de carbone à index glycémique élevé ou intermédiaire 3 à 4 heures avant le commencement d'une épreuve. Le contenu du repas devrait être pauvre en graisses, en protéines et en fibres et ne pas provoquer de troubles gastro-intestinaux.

Absorption d'hydrates de carbone durant l'exercice

Après 1 à 3 heures d'efforts continus effectués à une intensité de 60 à 80 % de la $V_{2O_{max}}$, les athlètes ressentent la fatigue causée par la forte diminution des hydrates de carbone. Le fait d'absorber des hydrates de carbone durant l'exercice permet de différer d'environ 30 à 50 minutes l'apparition de la fatigue [31-32]. Cette amélioration est due au fait que dans l'accomplissement tardif de l'exercice, lorsque la concentration musculaire de glycogène est basse, l'énergie nécessaire à l'activité des muscles dépend principalement du taux de glucose sanguin [32]. Afin d'éviter une hypoglycémie dans la phase tardive de l'effort (pour des efforts supérieurs à 2 heures), l'absorption d'hydrates de carbone durant l'épreuve est bénéfique. Elle retarde la fatigue mais ne l'empêche pas, car, mis à part la déperdition musculaire en glycogène, d'autres facteurs sont également liés à l'apparition de la fatigue [32]. Si les réserves d'hydrates de carbone sont insuffisantes avant le début de l'effort (alimentation inadéquate, entraînement préalable), un apport d'hydrates de carbone peut aussi s'avérer bénéfique pour un exercice durant seulement 60 minutes [30].

En se basant sur le taux de glucose perfusé afin de maintenir la glycémie et l'oxydation des hydrates de carbone tardivement durant l'effort, il a été déterminé qu'une quantité de glucose exogène de 1 gramme par minute est nécessaire. Par conséquent, il est recommandé d'absorber 60 g ou plus d'hydrates de carbone par heure durant un effort. Cependant, les athlètes devront également

tenir compte du fait que la concentration d'une boisson en hydrates de carbone est inversement proportionnelle à sa vidange gastrique. Dès lors, afin d'éviter qu'un athlète soit déshydraté, les conditions climatiques, la durée et l'intensité de l'effort dicteront la quantité d'hydrates de carbone qu'il est nécessaire d'ajouter à sa boisson. Le taux de vidange gastrique d'une solution d'hydrates de carbone est de 1000 ml par heure à condition que la concentration en glucides soit inférieure à 10 % [33]. Le volume de fluide ingéré durant chaque heure d'un effort, afin d'obtenir une quantité adéquate d'hydrates de carbone, dépendra évidemment de la concentration d'hydrates de carbone contenus dans la boisson. Le glucose, le sucrose et les maltodextrines semblent avoir une efficacité similaire dans le maintien du taux de glucose sanguin, de l'oxydation des hydrates de carbone et dans l'amélioration de la performance [34]. Il est probable que tous les aliments liquides ou solides à index glycémique élevé ou intermédiaire conviennent durant un effort. Cependant, les maltodextrines sont plus populaires car leur goût à concentration égale, est nettement moins doux que les sucres simples.

Conclusion

Le maintien de l'approvisionnement en glucose des muscles en activité est essentiel dans l'optimisation de la performance physique, spécialement lors d'épreuves de longue durée. Une alimentation riche en hydrates de carbone permet l'optimisation de la resynthèse en glycogène après un effort ce qui favorise la récupération et améliore la performance physique. D'autre part une surcompensation d'hydrates de carbone avant une épreuve particulière, de même que l'absorption de glucides avant et/ou pendant l'effort retarde l'apparition de la fatigue. Vu le taux limité de resynthèse en glycogène après un exercice, il est difficile, en pratique, de s'entraîner avec un taux de glycogène optimal lorsque deux ou plusieurs entraînements soutenus sont effectués par jour. Même si la quantité d'hydrates de carbone ingérés est très élevée, la concentration musculaire en glycogène sera probablement en dessous du niveau optimal par rapport au volume et à l'intensité des exercices effectués durant la ou les séances ultérieures. L'athlète ne sera donc pas capable de soutenir un entraînement dont l'intensité est proche du pic compétitif. En conséquence, il est absolument nécessaire durant la saison de compétition d'adapter un rythme d'entraînement qui permette à l'athlète de récupérer et il serait contre-performant de ne pas diminuer le volume d'entraînement durant cette période.

Adresse pour la correspondance:

Silvio Folli, Ph. D, Pharma Futura S.A., CH-1950 Sion, Suisse, Tél. 41.27.31.52.62, Fax 41.27.31.52.64.

Référence

- 1 Costill, D.L., Flynn, M.G., Kirwan, J.P., Houmard, J.A., Mitchell, J.B., Thomas, R., and Park, S.H.: Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20, 249-54, 1988.
- 2 Krogh, A. and Lindhard, J.: The relative value of fat and carbohydrates as sources of muscular energy. *Biochemical J.*, 14, 290-363, 1920.
- 3 Christensen, E.H. and Hansen, O.: Arbeitsfähigkeit und Ernährung. *Scand. Arch. Physiol.*, 81, 160-171, 1939a.
- 4 Christensen, E.H. and Hansen, O.: Hypoglykämie, Arbeitsfähigkeit und Ermüdung. *Scand. Arch. Physiol.*, 81, 172-179, 1939b.
- 5 Bergstrom, J. and Hultman, E.: A study of the glycogen metabolism during exercise in man. *Scand. J. Clin. Lab. Investigation*, 19, 218-228, 1967.
- 6 Hermansen, L., Hultman, E. and Saltin, B.: Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand.*, 71, 129-139, 1967.
- 7 Costill, D.L.: Carbohydrates for exercise: dietary demands for optimal performance. *Int. J. Sports Med.*, 9, 1-18, 1988.

- 8 Crapo, P.A., Reavan, G. and Olefsky, J.: Postprandial plasma glucose and insulin responses to different complex carbohydrates. *Diabetes*, 26 [12], 1178-1183, 1977.
- 9 Guezennec, C.Y., Satabin, P., Duforez, F., Merino, D., Peronnet, F., and Koziat, J.: Oxidation of corn starch, glucose, and fructose ingested before exercises. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21, 45-50, 1989.
- 10 Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Jenkins, A.L., Josse, R.G., and Wong, G.S.: The glycaemic response to carbohydrate foods. *Lancet*, 2, 388-391, 1984.
- 11 Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Buckley, J., Lam, K.Y., Giudici, S., Kalmusky, J., Jenkins, A.L., Patten, R.L., Bird, J., Wong, G.S., and Josse, R.G.: Low glycaemic index starchy foods in the diabetic diet. *Am. J. Clin. Nutr.*, 48, 248-254, 1988.
- 12 Costill, D.L. and Hargreaves, M.: Carbohydrate nutrition and fatigue. *Sports Med.*, 13 [2], 86, 1992.
- 13 Miller, G.D.: Carbohydrate in ultra-endurance exercise and athletic performance, in *Nutrition in Exercise and Sport*, Hickson, J.F., and Wolinsky, I., Eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 49, 1994.
- 14 Valeriani, A.: The need for carbohydrate intake during endurance exercise. *Sports Med.*, 12 [6], 349, 1991.
- 15 Bassett, D.R. and Nagle, F.J.: Energy metabolism in exercise and training, in *Nutrition in Exercise and Sport*, Hickson, J.F., and Wolinsky, I., Eds., CRC Press, Boca Raton, FL, 139, 1994.
- 16 Friedman, J.E., Neuffer, P.D., and Dohm, G.L. Regulation of glycogen resynthesis following exercise. Dietary considerations. *Sports Med.*, 11 [4], 232, 1991.
- 17 Felig, P., and Wahren, J.: Fuel homeostasis in exercise. *N. Eng. J. Med.*, 293, 1078-1084, 1975.
- 18 Keizer, H., Kuipers, A.H., van Kranenburg, G., and Geurten, P.: Influence of liquid and solid meals on muscle resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *Int. J. Sports Med.*, 8, 99-104, 1986.
- 19 Blom, P.C., Hostmark, A.T., Vaage, O., Vardal, K.R., and Maehlum, S.: Effect of different post exercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19, 491-496, 1987.
- 20 Ivy, J.L., Lee, M.C., Brozinick Jr. J.T., and Reed, M.J.: Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol.*, 65, 2018-2023, 1988a.
- 21 Ivy, J.L., Katz, A.L., Cutler, C.L., Sherman, W.M., and Coyle, E.F.: Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time on carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol.*, 65, 1480-1485, 1988b.
- 22 Costill, D.L., Sherman, W.M., Fink, W.J., Maresh, C., Witten, M., and Miller, J.M.: The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *Am. J. Clin. Nutr.*, 34, 1831-1836, 1981.
- 23 Astrand, P.O.: Diet and athletic performance. *Fed. Proc.*, 26, 1772, 1967.
- 24 Williams, M.H. (Ed.): The role of carbohydrates in physical activity, in *Nutritional Aspects of Human Physical and Athletic Performance*, 2nd ed., Charles C. Thomas, Springfield, IL, 58, 1985.
- 25 Sherman, W.M., Costill, D.L., Fink, W.J., and Miller, J.M.: The effect of exercise and diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Int. J. Sports Med.*, 2, 114-118, 1981.
- 26 McMurray, R.G., Wilson, J.R., Kitchell, B.S.: The effects of fructose and glucose on high intensity endurance performance. *Res. Quarterly*, 54, 156-162, 1983.
- 27 Hargreaves, M., Costill, D.L., Fink, W.J., King, D.S., and Fielding, R.A.: Effect of pre-exercise carbohydrate feedings on endurance cycling performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19, 33-36, 1987.
- 28 Gleeson, M., Maughan, R.J., and Greenhaff, P.L.: Comparison of the effects of pre-exercise feedings of glucose, glycerol and placebo on endurance and fuel homeostasis in man. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55, 645-653, 1986.
- 29 Peden, C., Sherman, W.M., D'aquisto, L., and Wright, D.A.: 1 h pre-exercise carbohydrate meals enhance performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21, S59, 1989.
- 30 Neuffer, P.D., Costill, D.L., Flynn, M.G., Kirwan, J.P., Mitchell, J.B., and Houmard, J.: Improvements in exercise performance: effects of carbohydrate feedings and diet. *J. Appl. Physiol.*, 63, 983-988, 1987.
- 31 Coyle, E.F., Hagberg, J.M., Hurley, B.F., Martin, W.H., Ehsani, A.A., and Holloszy, J.O.: Carbohydrate feedings during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *J. Appl. Physiol.*, 55, 230-235, 1983.
- 32 Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hermert, M.K., and Ivy, J.L.: Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol.*, 61, 165-172, 1986.
- 33 Neuffer, P.D., Costill, D.L., Fink, W.J., Kirwan, J.P., Fielding, R.A., and Flynn, M.G.: Effects of exercise and carbohydrate composition on gastric emptying. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 18, 658-662, 1986.
- 34 Murray, R., Paul, G.L., Seifert, J.G., Eddy, D.E., and Halaby, G.A.: The effects of glucose, fructose, and sucrose ingestion during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21, 275-282, 1989b.