



Reading to Learn PE

We build physical wellness through exercise, nutrition, and rest.
We increase mental capacity through reading, writing, and thinking.

<http://www.hkpe.net/reading>

運動員營養與水分補充

概述

人體在休息或從事體力活動時所需要的能量，都是來自日常飲食中的營養素（食物）。這些營養素共可分為六個類別：醣類（碳水化合物）、脂肪、蛋白質、維生素、礦物質和水分。

醣類

醣類或碳水化合物（carbohydrates）是由碳、氫和氧原子所組成的化合物的總稱，分單醣（monosaccharides）、雙醣（disaccharides）和多醣（polysaccharides）。

醣類最簡單的結構是單醣類，如葡萄糖（glucose, $C_6H_{12}O_6$ ，亦稱血糖）、果糖¹（fructose）和半乳糖²（galactose）。葡萄糖可以被人體細胞直接用來提供能量，亦可以肝醣（glycogen）的形式儲存於肌肉和肝之內，又或者被轉化成脂肪來儲存能量。人體能輕易地把果糖和半乳糖轉化成葡萄糖以提供能量。

雙醣類由兩個單醣組成，當中有蔗糖³（sucrose）、麥芽糖⁴（maltose）和乳糖⁵（lactose）。多醣類則是由三個或以上的單醣類組合而成，其中最普遍的有澱粉（starch）、纖維素（cellulose）和肝醣（glycogen）。

一個澱粉的分子可以由數百，甚至是數千個獨立的糖分子組成。澱粉的主要來源包括玉米、穀類、豆類及馬鈴薯。纖維素是澱粉以外的另一種植物性多醣類，它是植物的主要結構成分。雖然纖維素難以被人體消化，亦無多大的營養價值，但卻有助於腸胃的日



常運作，縮短食物殘渣通過消化道的時間，及降低血液內膽固醇的功效。

肝醣亦稱為動物性澱粉，也是一個很大的分子結構。肝醣在食物中的蘊藏量並不高，反而當過剩的葡萄糖進入肝或肌肉時，則會被轉化成肝醣而儲存起來。人體的肝和肌肉內約有 375 至 475 克的肝醣儲備，當需要葡萄糖來提供能量的時候，這些肝醣儲備便會再度被轉化成葡萄糖，隨著血液被帶到正在工作的肌肉之中，以供應所需的能量。

碳水化合物的主要作用，就是為人體內千億個細胞提供能量。食物中的碳水化合物，不論是各種醣類或澱粉，都要先分解成葡萄糖，才可以被血液運送到細胞來提供能量。如果這些葡萄糖仍未能滿足能量的需求，肝臟及肌肉的肝醣儲備就會被動用來提供能量。反過來說，過剩的糖分会以肝醣的形式被儲存起來，不過當肝及肌肉內都儲滿了肝醣後，剩餘的糖分便會被轉化成脂肪，儲存在皮膚下的脂肪細胞之中。因此，就算膳食是以碳水化合物為主，若吸取了過多熱量的話，體內脂肪的含量仍然是會有所提高的。此外，攝取充足的碳水化合物亦能避免人體以蛋白質作為供能的用途。

脂肪

脂肪（fats）也是由碳、氫和氧的原子組成，人體內超過 95% 的脂肪，都是以三酸甘油脂（triglyceride）的形式出現。三酸甘油脂主要是由甘油（glycerol）和脂肪酸（fatty acid）的分子組合而成。脂肪酸又分為飽和（saturated）與不飽和（unsaturated）兩種。日常食用牛油中的脂肪酸，就是以飽和脂肪酸為主。一般來說，植物油內的脂肪酸，都是不飽和脂肪酸。再者，不論脂肪酸的飽和程度為何，所有脂肪的熱量基本上都相同。大部分營養學家和醫護人員都認為應以不飽和脂肪取代至小部分飽和脂肪的攝取量，以降低患上心血管疾病和各種癌症（如直腸癌）的機會。

¹ 最甜的單醣類，大量存在於生果及蜜糖之中。

² 生產於哺乳類動物之乳腺中。

³ 由葡萄糖和果糖構成，可從甘蔗和甜菜中獲得。

⁴ 由兩個葡萄糖分子組成。

⁵ 可從奶類中獲得，會被消化成葡萄糖和半乳糖。

除了三酸甘油酯外，部分脂肪還會以磷脂（phospholipids）、脂蛋白（lipoproteins）和膽固醇（cholesterol）等形式出現。膽固醇可以從食物攝取或體內自行製造而成，它是人體內一些重要功能（如製造膽汁和雌、雄激素）的重要營養素。可是，醫學界認為三酸甘油酯和膽固醇均與各種心血管疾病有關，很多人亦開始從膳食中減少這類脂肪的攝取量。

脂蛋白是血液中運送脂肪的主要形態，它是血脂和蛋白質的結合體。高密度脂蛋白（high density lipoproteins, HDL）包含較多的蛋白質和相對地少的膽固醇；低密度脂蛋白（low density lipoproteins, LDL）包含較多的脂肪和相對地少的蛋白質成分。低密度脂蛋白較容易黏附在動脈的血管壁上，於是令血管變得狹窄而逐漸形成冠心病。反過來說，高密度脂蛋白能夠帶走血管壁上的膽固醇，亦能搶佔血管壁上的陣地，令低密度脂蛋白無處黏附，因而有助於預防心血管疾病。

由於人體對脂溶性維他命（如 A、D、E、K）和必須脂肪酸的需求，每日的膳食都應有一定的脂肪含量。低熱量—低飽和脂肪膳食、戒煙及有氧運動均有助提高體內高密度脂蛋白的水平。

蛋白質

蛋白質⁶（proteins）主要由氨基酸（amino acids）組成，是人體組織結構的材料。總共有二十種不同的氨基酸，其中八種不可以人體內合成，必須從食物中攝取，稱為必須（essential）氨基酸；其餘十二種可以在人體內合成，稱為非必須（nonessential）氨基酸。建議成人每天應攝取約每千克體重 0.7 克的蛋白質，最少也要有每千克體重 0.35 至 0.5 克，但亦不可高於每千克體重 1 克的攝取量，否則蛋白質代謝時會提高腎臟的負荷。

維生素、礦物質

雖然維生素（維他命）、礦物質都不含熱量⁷，但它們均是維持人體正常運動的重要營養素。一般來說，均衡的飲食已能夠提供足夠的維生素及礦物質，除有特別需要的人士外，毋需再作額外的補充。就算有需要補充額外的維生素及礦物質，也必須按照

醫護人員的指示進行。此外，亦無確實證據顯示額外補充維生素或礦物質有助於提高運動表現。

水

水也是不含熱量，它佔上了人體重量的 40 至 60%。由於肌肉的重量有 75 至 80%是由水構成，而脂肪中水所佔的重量僅為 15 至 30%，所以就算體重相同，肌肉較多的人體內儲存著的水分亦會較多。

水分可以從飲品、食物及新陳代謝中獲得；水分亦可以從排除尿液、糞便、出汗及氣體交換中流失。尿液中有 96%是水，成年人在正常情形下每天會排放 1000 至 1500 毫升的尿液。糞便中亦有 70%是水，所以正常人每天會從糞便流失約 100 毫升的水分；可是在腹瀉的情況下，水分流失的程度卻可達至 1500 至 5000 毫升。

水不僅是人體內的重要介質，也是調節體溫的重要物質。整個人體的表面約有二千五百萬條汗腺，在一般的氣溫下，人體每天會排放 500 至 700 毫升的汗液，但在酷熱的天氣下作劇烈運動時，汗液的流失可以高達 8 至 12 公升。馬拉松選手在一場正式比賽中就可以因汗液的流失而損失 6 至 10%的體重。此外，每天亦有 250 至 300 毫升的水分會在呼氣的過程中被排出體外。因此，進行長時間的耐力運動時，水分的補充便相當重要。

運動員營養

▲ 般人與運動員對食物需求的分別主要在於熱量的多少，運動員的需求會較多（Fox 等，1993）。根據 1989 年美國 National Research Council 推薦的日攝食量（recommended dietary allowance, RDAs），一個中等活躍的女性和男性每天分別需要 2,200 及 2,900 千卡的熱量。實際的熱量消耗會受到遺存、年齡、性別、體型、非脂肪部分重量、和運動的強度、頻率和持續時間所影響⁸。例如，一個重 70 千克的男性跑步者，若每天均以每分鐘 6 英哩的速度去跑 10 英哩，就要因此而多消耗 1,063 千卡（Katch 與 McArdle，1993）。一個非常活躍，每天要吃上 5,000 至 6,000 千卡的人，每日便可能要分 4 至 5 餐進食。

由 American College of Sports Medicine、American Dietetic Association 及 Dietitians of Canada（2000）聯署

⁶ 蛋白質除了碳、氫、氧外，還包含了氮的原子。

⁷ 每克碳水化合物含 4 千卡熱量，每克脂肪含 9 千卡熱量，每克蛋白質含 4 千卡熱量。維他命、礦物質均不含熱量。

⁸ 更多關於體力活動和能量消耗的數據可參閱：Ainsworth, B. E. (2002, January). *The Compendium of Physical Activities Tracking Guide*.

的指引中就曾指出良好的營養有助體力活動及運動表現，也可促進運動後的恢復。它們建議運動員每天按照每千克體重去進食 6 至 10 克的碳水化合物，而蛋白質方面則為每天 1.2 至 1.4 克/千克體重。此外，膳食中應含有中等分量的脂肪（20 至 25% 能量）。至於維生素及礦物質方面，除非運動員是節食或偏食，否則並無需要額外攝取這方面的補充劑。不過，無論是運動前、運動進行間和運動後，都要補充足夠的水分。

運動前膳食

運 動前的膳食，應足以準備運動員去進行活動，而又不會使其感到飢餓或胃部充滿未消化的食物。因此，ACSM、ADA 與 DC（2000）均建議運動前的膳食應該是：（1）水分充足以防止脫水，（2）低脂肪及纖維含量以助消化及減少腸肚不適，（3）高碳水化合物含量以維持血糖水平和醣元儲備，（4）中等蛋白質含量，和（5）運動員慣常的食物。



根據 Wilmore 與 Costill（1994），無論在耐力項目（超過 1 小時）開始前 5 分鐘、2 小時或進行間進食碳水化合物都能促進運動表現。但運動員切勿在運動開始前的 15 至 45 分鐘進食碳水化合物，因為這樣做會激發胰島素（insulin）的分泌，使血糖濃度下降，而且也防礙了運用脂肪作為燃料的功能，於是引致運動開始後不久便出現疲勞現象，最終影響了運動表現。

醣元負載法

在正常情況下，人體內每千克肌肉約儲存著 15 克的醣元，還有些儲存在肝臟內。進行長時間耐力項目（如馬拉松）時，體內的醣元可提供約個半小時的能量（Jensen 與 Fisher，1979）。因此，如果可以增加人體內的醣元儲備，理論上就能夠促進耐力項目的表現（以較快的速度去完成較長的路程）。耐力項目運動員就經常採用以下的醣元負載法去提升體內醣元的總儲備（Fox 等，1993）：

1. 連續在比賽前的 3 至 4 天進行高碳水化合物膳食，並且在這段期間避免進行劇烈的訓練，研究發現這種準備方式可以提高體內的醣元儲備（25 克/每千克肌肉）。
2. 第二種形式是先以運動來耗盡體內的醣元儲備，然後再連續幾日進行高碳水化合物膳食，研

究發現這種方式可以把體內的醣元儲備提升至原來的 2 倍。

3. 第三種方式同樣是先以運動來耗盡體內的醣元儲備。首先是連續三日進行低碳水化合物、高脂肪及蛋白質膳食，並同時進行劇烈的運動訓練；之後便連續三日進行高碳水化合物膳食，並同時降低訓練量。研究發現，這種方式可把體內的醣元儲備提升得更高（50 克/每千克肌肉）。

不過，運動員必須留意無論採用何種醣元負載法，體內都會同時儲存多一定分量的水分（約為每 1 克醣元跟 3 克水同時儲存）。例如，當每一千克肌肉內的醣元儲備由 15 克增加至 40 克時，一個體重為 70 千克的運動員，通常有 30 千克的肌肉⁹，就會額外儲存著 750 克，約 1.65 磅的醣元和 2.25 千克或 4.95 磅的水了；這都有可能降低運動表現。

運動時進食碳水化合物

持 續 1 小時或以上的耐力項目，若能每小時按每千克體重進食 0.7 克碳水化合物（約每小時 30 至 60 克），便能夠促進運動表現；這對於那些沒有做

賽前膳食的安排

如果比賽在晨早舉行，賽前膳食的安排便更加重要，因為自對上一次的晚餐起計，經過了十二小時或以上之後，肝醣的儲備已經在最理想水平以下。賽前膳食能起到重新恢復能源儲備的作用，也就可以延遲疲勞的出現。

比賽在早上舉行：

之前一晚要進食高碳水化合物晚餐。比賽當日的早上，只宜吃一頓輕量的早餐或小吃。

比賽在下午舉行：

之前一晚及比賽當日的早上，都吃一頓高碳水化合物膳食。中午的時候，只宜吃一個輕量的午餐。

比賽在黃昏舉行：

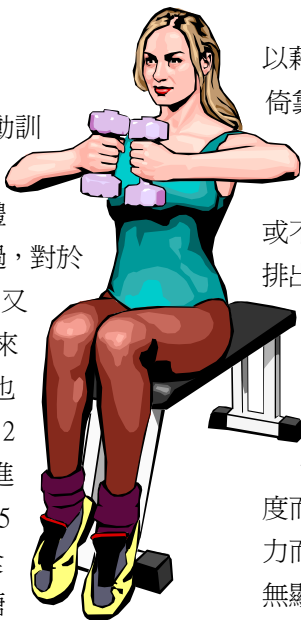
比賽當日的早上和正午，分別吃一頓高碳水化合物的早餐及午餐。下午只宜再吃點小吃。

⁹ 人體 40% 的重量為肌肉。

醣元負載法或沒有於運動前進食的運動員來說尤為有效。此外，於運動開始後每隔 15 至 20 分鐘進食碳水化合物也比進行運動兩小時後才進食同等分量來得有效。再者，碳水化合物應以葡萄糖類為主，因為果糖類單獨可能會引起腸胃不適（雖然兩者的混合物似乎有效）。至於以運動飲品或能量棒等固體食物加水作為碳水化合物的補充則無多大分別（ACSM、ADA 與 DC，2000）。

運動後膳食

如 果每隔幾天才進行劇烈的運動訓練或比賽，只要有均衡的膳食，經過一至兩天的日常進食後，體內的醣元儲備便能夠恢復正常。不過，對於要連續多日進行劇烈的訓練或比賽，又或者在同一日內要進行的運動員來說，運動後進行高碳水化合物膳食也就非常重要，特別是運動結束後的 2 個小時之內。研究發現運動後立刻進食碳水化合物（以每千克體重計 1.5 克），並在 2 個小時後再次重復進食相同分量，便能夠迅速恢復體內的醣元儲備（ACSM、ADA 與 DC，2000）。不過，如果緊接下來的訓練課或比賽是相隔一天或以上才進行時，只要在這期間有足夠的碳水化合物以作補充，那麼進食的時間便較為次要。



運動與水分補充

做 運動的時候，視乎外在環境的情況（溫度、濕度、陽光、風力）、新陳代謝的速率和穿著的衣服種類等，體溫可以急劇上升，於是身體會透過排汗來散發過剩的熱能。

運動與出汗

除 了水分以外，汗液還包含著電解質，如果因大量出汗而又未能及時補充失去的水分和電解質，就會降低運動表現，甚至影響健康。

Sawka 等（2007）指出，運動員在訓練及比賽中，可以每小時流失 0.5 至 2.0 公升的汗液。當然，實際的流失速率會因個別運動員、運動項目和氣候的不同而有出入。就以越野跑為例，Godek, Bartolozzi 與 Godek（2005）發現，夏天時汗液的平均流失速率可達 1.77 公升/小時（範圍由 0.99 至 2.55 公升/小時）；就算在冬天，Burke 等（2005）也發現半馬拉松運動員的平均汗

液流失速率仍可達 1.49 公升/小時（範圍由 0.75 至 2.23 公升/小時）。由此推算，運動員在一場超過 2 小時的馬拉松長跑賽事中，可以流失約 3 公升或以上¹⁰的汗液。以一個體重 70 千克的運動員計算，身體的總含水量為 42 公升（人體約 60% 的質量由水構成），所以在一場馬拉松賽事中，可以流失 $3 \div 42 \times 100\% = 7\%$ 的水分，或 $3 \div 70 \times 100\% = 4\%$ 的體重。

在較涼快及溫和的環境之下，人體產生的熱能以藉著輻射（radiation）和對流（convection）來散發，倚靠汗液蒸發（evaporation）來散熱的需求降低，所以汗液的流失量亦相對較少。在炎熱的環境底下，體熱主要靠汗液的蒸發來排出體外¹¹，穿著沉重或不通風的衣物，都會妨礙了體熱藉著汗液的蒸發而排出體外，汗液會流得更多¹²。反過來說，當氣流增強的時候（風、跑速），會促進汗液的蒸發，減少汗液掉到地上，造成「浪費」。

汗液中電解質（如鈉、鉀、鈣、鎂等）的流失量要視乎汗液的總流失量和汗液中電解質的濃度而定，而且會按遺傳、膳食、汗液速率和熱適應能力而有出入。然而，性別、成熟程度和年齡，對此卻無顯著影響。雖然汗腺能重新吸收鈉（sodium）和氯化物（chloride），但其吸收能力並不會隨著汗液速率的上升而有所提高，因而使到汗液中鈉和氯化物的濃度會隨著汗液加快而升高。熱適應（heat acclimatization）能增強再吸收鈉和氯化物的能力，使人體在任何汗液流失速率之下，汗液中鈉的濃度都會較低。

人體內的水平衡

人 體內的水平衡要按水分的吸收和流失而定，水分可透過飲料、膳食和新陳代謝而得到補充，但亦會隨著呼吸、排泄和出汗而流失。在正常的情形下，由新陳代謝而產生的水分（約 0.13 克 / 千卡熱能），與呼吸時水分的流失量互相抵消（Consolazio, Johnson 與 Pecora, 1963; Convertino 等, 1996）。除了腹瀉的情況下，水分隨消化管道的流失量只為 100 至 200 毫升 / 天。腎臟會調節尿液輸出來維持體內的水

¹⁰ 1 公升的汗液約重 1 千克。

¹¹ 每蒸發 1 克的汗水可帶走 0.58 千卡（Kcal）的熱能。進行劇烈運動時，人體需要以每小時蒸發約 1.2 公升的速率來散發體熱。

¹² 汗液必須藉著「蒸發」以帶走大量的熱能，掉在地上的汗水並無助於散發體熱（Cheuvront 等, 2004; Sawka, Wenger 與 Pandolf, 1996）。

平衡，能夠每小時排出 20 至 1000 毫升的尿液 (Institute of Medicine, 2005)。在劇烈運動的時候，流到腎臟的血量和腎小球的過濾能力都會顯著下降，尿液的排放量亦會隨之而減少 (Zambraski, 2005)。因此，運動時吸取過多的水分 (hyperhydration)，腎臟便難以將多餘的水分排出體外。一般來說，經過 8 至 24 小時之後，如果能夠汲取足夠的水分和電解質，兩者都能夠被完全補充，使身體的總含水量得以維持，並且經常都能夠保持在體重的 ± 0.2 至 0.5% 以內。

脫水與補水

運動時體重的改變可以用來計算汗液的流失速率。由於汗液的比重 (specific gravity) 為 1.0 克/毫升，每減輕 1 克的體重就代表流失了 1 毫升的汗液。因此，運動前後體重的相差便可以用作水分補充的指標。對大部分人來說，水分流失超過體重的 2% 便會開始影響到有氧運動和認知上的表現 (特別在炎熱的天氣底下)，但實際情況會按環境溫度、運動種類和個人生理特質而有差異。在較寒冷的天氣底下，脫水超過體重的 3% 才會開始影響到有氧運動的表現。不過，就算脫水程度是超過了體重的 3 至 5%，仍不會影響到無氧運動和肌肉力量的表現 (Sawka 等, 2007)。

脫水不但會影響到運動表現，而且還可以導致熱衰竭，甚至是中暑的嚴重後果。美國一個歷時 22 年的研究 (Carter 等, 2005) 顯示，約 17% 中暑而需要留院的美軍有脫水的情況。骨骼肌的抽筋情況也相信是由於脫水，再加上電解質不足和肌肉疲勞所致；而且容易抽筋的人士，亦相信是出汗較多並同時流失大量鈉的一群 (Bergeron, 2003; Stofan 等, 2001)。

另一方面，過度補充水分 (高於汗液流失量) 而未能適當補充鈉，使到血漿內的鈉過少 (低於 125 微摩爾 / 公升)，便會造成運動性低血鈉症 (exercise-associated hyponatremia)，而且血鈉的濃度降得越低，降得越急，出現腦部疾病 (如水腫) 及肺水腫的風險就越大。低血鈉症癥狀包括：頭痛、嘔吐、手及腳部腫脹、不安、不尋常的疲累、混亂和失去知覺 (腦部疾病：水腫)、呼吸時出現氣喘聲 (肺水腫) 等。當血鈉的濃度遠低於 120 微摩爾 / 公升的時候，甚至會出現昏迷、呼吸停頓，乃至死亡的情況。

女性的體型較小，新陳代謝的速率也較低，所以汗液流失速率也較男性為低，但卻比男性容易出現運

動性低血鈉症 (特別在參與馬拉松及超級馬拉松賽事時，但原因仍未能確定)。老年人 (65 歲以上) 對脫水而感到口渴的靈敏度較差，往往未能及時補充足夠的水分，所以運動時及運動後都應鼓勵他們要多喝水；兒童的汗液流失速率也較成年人低。

American College of Sports Medicine 對運動時水分的補充有下列的建議 (Sawka, 2007)：

1. 運動前的水分補充

運動前的 4 小時，便應開始按體重逐少補充水分 (約 5 至 7 毫升 / 千克)，如果之後未有小便或尿液的顏色仍較深，便應在運動前的 2 小時，再按體重逐少補充水分 (約 3 至 5 毫升 / 千克)。在運動前數小時開始補充水分，能確保尿液的輸出，亦即體內的水分平衡，在運動開始前已回復正常。飲用含鈉的飲料及進食加進小量食鹽的小食，能刺激口渴的感覺及保存喝進的水分。一般來說，攝氏 15 至 21 度的水亦較為可口。

2. 運動時的水分補充

運動時水分補充的目標就是防止脫水 (超過體重的 2%) 和保持電解質的平衡，補充的分量和速率要按個人的汗液流失速率、運動的持續時間和可以給予補充水分的機會 (水站的設置) 而定。運動的持續時間越長 (超過 3 小時)，水分補充與汗液流失之間的平衡越加重要，否則會造成脫水或運動性低血鈉症。對於賽前體內水平衡正常的馬拉松運動員來說，Noakes (2003) 建議他們可隨著意向飲用 0.4 至 0.8 公升 / 小時的飲料。運動員的跑速越高，體重越重，氣候越炎熱，飲的應當較多；反過來說，個子較小，體重較輕，速度較慢的運動員，可以相對飲少些。¹³

至於運動飲料的成分，Institute of Medicine (1994) 建議，除了要含有電解質 (鈉、鉀、氯化物) 外，還要包含約 5 至 10% 的碳水化合物¹⁴，以補給能量。碳水化合物的補給有助於維持運動的強度，每小時飲用約

¹³ American Academy of Pediatrics (2000) 建議，就算不覺得口渴，在運動進行中，兒童 (體重 40 千克) 應每 20 分鐘喝進 150 毫升的水或含鹽的飲品；而青少年 (體重 90 千克) 則要喝上 250 毫升。ACSM、ADA 與 DC (2000) 的一份聯合指引就指出，在運動前的 2 小時，應喝進 400 至 600 毫升的水分，在運動進行中，每隔 15 至 20 分鐘，應喝上 200 至 300 毫升的水或運動飲料。

¹⁴ 即每 100 毫升含有 5 至 10 克的碳水化合物。



30 至 60 克的碳水化合物飲料，能有效維持血糖的水平，從而保持運動表現（Coyle，2004；Coyle 與 Montain，1992）。以一支常規的運動飲料（含 6 至 8% 碳水化合物）計算，運動員每小時可飲用 0.5 至 1 公升以達致每小時補充 30 至 80 克碳水化合物的目標。不過，運動飲料中的碳水化合物亦不宜超過 8% 的濃度，否則容易滯留胃部，妨礙水分的吸收。

3. 運動後的水分補充

運動後水分補充的目標，就是要完全恢復體內的水分和電解質儲備。如果時間許可，正常的飯餐及小

吃（只要含有適量的鈉），再加上清水已足夠補充需要。於恢復階段在食物或飲品中加進鈉，有助刺激口渴的感覺和保留喝進的水分。就算從汗液流失了較多的鈉，只要在食物中加多少許的食鹽，一般已足夠補充失去的電解質。

若要盡快解決脫水的問題，運動員應按每千克體重的損失，飲用約 1.5 公升（包含電解質）的飲料，但千萬不要一次過喝進太多，以免造成運動性低血鈉症。

參考資料

1. American Academy of Pediatrics (2000). Climatic heat stress and the exercising child and adolescent. *Pediatrics*, **106**, 158-159.
2. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. (2000). Joint position statement: Nutrition and athletic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **32**(12), 2130-2145.
3. Bergeron, M. F. (2003). Heat cramps: fluid and electrolyte challenges during tennis in the heat. *Journal of Science & Medicine in Sport*, **6**, 19-27.
4. Burke, L. M., Wood, C., Pyne, D. B., Teleford, R. D., & Saunders, P. U. (2005). Effect of carbohydrate intake on half-marathon performance of well-trained runners. *Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*, **15**, 573-589.
5. Carter, R. I., Chevront, S. N., Williams, J. O., et al. (2005). Hospitalization and death from heat illness in US Army soldiers, 1980-2002. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **37**, 1338-1344.
6. Chevront, S. N., Carter III, R., Montain, S. J., & Sawka, M. N. (2004). Influence of hydration and air flow on thermoregulatory control in the heat. *Journal of Thermal Biology*, **29**, 532-540.
7. Colyle, E. F. (2004). Fluid and fuel intake during exercise. *Journal of Sports Science*, **22**, 39-55.
8. Coyle, E. F., & Montain, S. J. (1992). Carbohydrate and fluid ingestion during exercise: are there trade-offs? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **24**, 671-278.
9. Consolazio, F. C., Johnson, R. E., & Pecora, L. J. (1963). The computation of metabolic balances. In: *Physiological Measurements of Metabolic Function in Man*. New York: McGraw-Hill, pp. 313-339.
10. Convertino, V. A., Armstrong, L. E., Coyle, E. F., et al. (1996). American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **28**, i-vii.
11. Fox, E. L., Bowers, R. W., and Foss, M. L. (1993). *The Physiological Basis for Exercise and Sport* (5th ed.). Dubuque, IA: Wm. C. Brown.
12. Godek, S. F., Bartolozzi, A. R., & Godek, J. J. (2005). Sweat rate and fluid turnover in American football players compared with runners in a hot and humid environment. *British Journal Sports Medicine*, **39**, 205-211.
13. Institute of Medicine. (1994). *Fluid Replacement and Heat Stress*.
14. Institute of Medicine. (2005). Water. In: *Dietary Reference Intakes for Water, Sodium, Chloride, Potassium, and Sulfate*. Washington, D. D.: National Academy Press, pp. 73-185.
15. Jensen, C. R., and Fisher, A. G. (1979). *Scientific Basis of Athletic Conditioning* (2nd ed.). Philadelphia: Lea & Febiger.
16. Katch, F. I. & McArdle, W. D. (1988). *Nutrition, Weight Control, and Exercise* (3rd ed.). Philadelphia, PA: Lea & Febiger.
17. National Research Council. (1989). *Recommended Dietary Allowances* (10th ed). Washington, DC: National Academy Press.
18. Noakes, T. (2003). Fluid replacement during marathon running. *Clinical Journal of Sport Medicine*, **13**, 309-318.
19. Sawka, M. N., Burke, L. M., Eichner, E. R., Maughan, R. J., Montain, S. J., & Stachenfeld, N. S. (2007). ACSM position stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **39**(2), 377-390.
20. Sawka, M. N., Wenger, C. B., & Pandolf, K. B. (1996). Thermoregulatory responses to acute exercise- heat stress and heat acclimation. In: *Handbook of Physiology, Section 4: Environment Physiology*, C. M. Blatteis and M. J. Fregly. New York: Oxford University Press for the American Physiological Society, pp. 157-186.
21. Stofan, J., Nicksich, D., Horswill, C. A., et al. (2001). Sweat and sodium losses in cramp-prone professional football players. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **33**(Suppl 1), S256.
22. Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of Sport and Exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.
23. Zambraski, E. J. The renal system. In: *ACSM's Advanced Exercise Physiology*. C. M. Tipton, M. N. Sawka, C. A. Tate, and R. L. Terjung. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp. 521-532.
24. 北京體育學院體育衛生教研組（1976）：*運動生理衛生常識問答*，北京：人民體育出版社。