

運動補水的科學抉擇：如何挑選最適合的運動飲料

當夏日豔陽下，運動員揮汗如雨的瞬間，一個看似簡單的問題浮現：該選擇哪種飲料來補充流失的水分與電解質？這個問題的答案，藏在人體複雜的生理機制與現代運動營養學的科學證據中。從小腸絨毛的分子轉運蛋白，到血漿滲透壓的精密調控，每一個環節都影響著我們選擇運動飲料的智慧。

人體水分吸收的分子基礎

要理解運動飲料的選擇原則，我們必須先認識人體水分吸收的生物學機制。在小腸絨毛頂端，存在著一個關鍵的轉運蛋白——鈉-葡萄糖協同轉運蛋白1(SGLT1)^[1]。這個奈米級的生物機械，每運送一分子葡萄糖進入細胞時，會同步帶入兩個鈉離子和約260個水分子^[1]。

這種「三位一體」的協同運輸機制，解釋了為什麼含糖電解質飲料能比純水更有效地促進水分吸收^[1]。分子動力學模擬研究顯示，SGLT1蛋白的構形變化會在轉運通道中形成瞬時水通道，水分子能夠沿著蛋白通道形成連續水鏈，實現被動水分運輸^[2]。

滲透壓：影響吸收效率的關鍵因子

人體血漿的滲透壓約為285-295 mOsm/kg，這個數值成為評估運動飲料效能的重要基準^[3]。根據滲透壓與血漿的關係，運動飲料可分為三類：低滲透壓(<270 mOsm/kg)、等滲透壓(270-330 mOsm/kg)和高滲透壓(>330 mOsm/kg)^[4]。

近年來的研究發現，低滲透壓飲料在運動補水方面表現最為優異^[5]。紐西蘭梅西大學進行的統合分析涵蓋28項研究，發現低滲透壓飲料的補水效果顯著優於等滲透壓和高滲透壓飲料^[5]。這是因為低滲透壓飲料含糖量較低(通常約3.9%)，能夠直接通過腸壁細胞間隙被吸收，無需額外的稀釋過程^[6]。

相較之下，高滲透壓飲料雖然能提供更多能量，但在腸道中會吸引水分進行稀釋，反而延緩了水分的淨吸收^[6]。瑞士的研究顯示，某些市售運動飲料的滲透壓高達690 mmol/kg，遠超過理想的補水範圍^[7]。

碳水化合物：能量與吸收的平衡

運動飲料中的碳水化合物不僅提供能量，更是影響水分吸收效率的關鍵因子。美國運動醫學會(ACSM)的指引建議，可選擇碳水化合物濃度6-8%之間的傳統運動飲料，碳水化合物濃度不應超過8%，甚至略低，因為高濃度碳水化合物飲料會降低胃排空^[8]。然而，最新研究顯示，對於以補水為主要目標的情況，3-4%的碳水化合物濃度可能更為理想^[6]。

碳水化合物的種類也至關重要。研究發現，含有多種糖類(如葡萄糖、果糖、蔗糖)的飲料，比單一糖類的飲料能更有效促進小腸水分吸收^[6]。這是因為不同糖類會啟動不同的轉運途徑，避免單一轉運系統的飽和^[9]。

運動過程中的胃排空研究顯示，高濃度碳水化合物飲料(15%葡萄糖溶液)在運動狀態下排空速度明顯降低，可能導致胃腸不適^[10]。因此，選擇適中濃度的碳水化合物飲料，既能提供能量又不妨礙胃排空，是運動營養的重要考量。

電解質配方：個體化的需求

汗液中的電解質組成因人而異，其中鈉離子是最主要的流失成分。大規模研究顯示，運動員汗液中鈉濃度的個體差異極大，從13 mmol/L到103 mmol/L不等^[11]。這種巨大的變異性，突顯了個體化電解質補充策略的重要性。

ACSM建議運動飲料應含有20-30 mmol/L的鈉^[8]，但近期研究認為這個標準可能偏低。歐洲食品安全局(EFSA)的評估報告指出，運動飲料應含有460-1150 mg/L的鈉(約20-50 mmol/L)^[12]。然而，對於高強度運動或高溫環境下的運動員，可能需要更高的鈉濃度來維持電解質平衡^[13]。

除了鈉之外，鉀離子也是重要的電解質成分。美國軍醫大學的運動營養指引建議，每8盎司運動飲料應含有18-46 mg的鉀^[14]。適當的鉀濃度不僅有助於維持肌肉功能，還能與鈉協同作用，提高整體的水分保持效果^[9]。

市售產品的實際表現

台灣市場上常見的運動飲料在成分配比上存在顯著差異。以滲透壓為評估標準，舒跑S運補飲料、寶礦力水得ion water和黑松FIN補給飲料被歸類為低滲透壓飲料^[6]。其中，寶礦力水得ion water因含有多種碳水化合物(蔗糖和高果糖糖漿)，在補水效果評比中表現最佳^[6]。

相較之下，傳統的舒跑和寶礦力水得因糖分含量較高(分別為40g和36g每600ml)，滲透壓相對較高，在純補水效果上不如低糖版本^[15]。這些產品更適合需要同時補充能量和水分的長時間運動。

運動情境的選擇策略

運動持續時間是選擇飲料類型的重要考量。香港體育學院的指引明確指出，少於90分鐘的運動可以清水或運動飲料補充，超過90分鐘的運動則建議使用含糖電解質的運動飲料^[16]。這是因為長時間運動會消耗肌肉和肝臟的糖原儲備，需要外源性碳水化合物來維持血糖穩定。

環境因素也影響飲料選擇。在高溫高濕環境下運動，汗液流失率可能達到每小時1公升以上^[17]。此時，低滲透壓的電解質飲料能更快速地補充流失的水分，預防脫水相關的運動表現下降^[18]。

運動強度同樣是考量因素。研究顯示，當脫水程度達到體重的2%時，運動表現就會受到明顯影響^[18]。高強度運動由於汗液流失率較高，需要更積極的補液策略，包括選擇吸收效率更高的低滲透壓飲料。

生理機制的深度解析

脫水對運動表現的影響是多方面的。當體液流失達到體重的2%時，最大攝氧量會下降約5%，心率增加，體溫調節能力受損^[18]。更嚴重的脫水（5%以上）會導致運動能力顯著下降，甚至增加熱傷害的風險。

水分補充的生理過程涉及多個步驟：飲料攝入、胃排空、腸道吸收、血液分布和腎臟調節^[19]。每個步驟都可能成為補水效率的限制因子。例如，胃排空速度會受到飲料溫度、滲透壓和碳水化合物濃度的影響^[10]。

最新的飲料水化指數（BHI）研究顯示，電解質的添加對水分保持具有顯著效果^[9]。含有21 mmol/L鈉和3 mmol/L鉀的電解質溶液，其BHI值比純水高出12-15%，表示更好的水分保持效果^[9]。

個體化補液方案

現代運動營養學強調個體化的補液策略。美國國家運動傷害防護協會建議，運動員應該通過測量運動前後的體重變化來評估個人的汗液流失率^[20]。每公斤體重流失需要補充1.5公升的液體，以確保完全恢復水分平衡^[20]。

汗液電解質濃度的檢測也變得越來越重要。研究發現，運動員汗液鈉濃度的變異係數可達60%，這種巨大差異無法通過單一配方的運動飲料來滿足所有人的需求^[11]。因此，高水平運動員可能需要進行個人化的汗液分析，以制定最適合的電解質補充方案。

特殊考量與注意事項

某些運動員可能面臨特殊的補液挑戰。例如，在需要穿著厚重防護裝備的運動中（如美式足球、冰球），汗液流失率可能比一般運動高出50%以上^[16]。這種情況下，需要更積極的補液策略和更高濃度的電解質飲料。

過度補水也是需要警惕的問題。飲用過量的低鈉飲料可能導致稀釋性低血鈉症，這在長距離耐力運動中尤其常見^[20]。因此，補液策略應該平衡脫水風險和過度補水的潛在危害。

運動後的恢復期補液同樣重要。研究顯示，含有適量鈉的飲料能更有效地促進水分保持，減少腎臟的水分流失^[13]。ACSM建議，運動後每公斤體重流失應補充1.5公升液體，以補償持續的水分流失^[21]。

結論與建議

基於現有的科學證據，運動飲料的選擇應該考慮多個因素的綜合平衡。對於大多數運動情況，低滲透壓飲料(200-270 mOsm/kg)提供了最佳的水分吸收效率，特別適合以補水為主要目標的運動^{[6][15]}。碳水化合物濃度控制在3-6%之間，既能提供適量能量又不妨礙水分吸收^{[6][8]}。

電解質配比方面，鈉濃度在20-50 mmol/L的範圍內較為理想，但高強度運動員可能需要更高的濃度^{[12][13]}。鉀的添加雖然不如鈉重要，但對維持整體電解質平衡仍有益處^[14]。

個體化仍然是未來運動營養發展的趨勢。隨著汗液分析技術的普及和穿戴式監測設備的發展，我們有望為每位運動員提供量身定制的補液方案^[11]。

最重要的是，運動飲料的選擇應該基於具體的運動情境、環境條件和個人生理特徵。在專業指導下進行個人化的需求評估，比盲目跟隨市場宣傳更能確保運動表現和健康安全。運動營養學的發展告訴我們，科學補水不僅是簡單的水分補充，更是一門精準的生理調控藝術。

參考文獻

^[22] 見附檔文獻：崔文浩等. 鈉-葡萄糖共轉運蛋白的結構機制研究進展. 中國科學: 生命科學, 2024.

^[23] 見附檔文獻：運動補水的科學抉擇：揭開電解質飲料的黃金比例之謎.

^[6] <https://www.drbcq.net/2023/08/202308drinksforhydration.html>

^[15] <https://health.ltn.com.tw/article/breakingnews/3680194>

^[24] <https://vocus.cc/article/64c4eba8fd897800016dbfc0>

^[31] <https://health.businessweekly.com.tw/article/ARTL000094424>

^[16]

<https://www.hksi.org.hk/tc/news-publications/scientific-publications/education-pamphlets/sport-nutrition-education-series/water-the-fountain-of-life>

^[4] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11120308/>

^[25] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9303999/>

^[2] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37445706/>

^[1] <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.93.23.13367>

- ^[17] https://www.apiam.pt/images/newsbreve/ficheiro/56_101_guidelines.pdf
- ^[7] https://sems.ch/fileadmin/user_upload/Zeitschrift/54-2006-3/Osmolality_54_3_06.pdf
- ^[19] <http://www.gssiweb.org/sports-science-exchange/article/the-fluid-replacement-process-principles-of-beverage-formulation-for-athletes>
- ^[5] <https://www.massey.ac.nz/about/news/which-sports-drinks-are-best-for-hydration/>
- ^[8] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17277604/>
- ^[20] https://www.nata.org/sites/default/files/fluid_replacement_for_the_physically_active.pdf
- ^[26] https://wikem.org/wiki/Reduced-osmolarity_oral_rehydration_solution
- ^[18] <https://us.humankinetics.com/blogs/excerpt/dehydration-and-its-effects-on-performance>
- ^[12] <https://www.bmj.com/content/345/bmj.e4753/rr/595961>
- ^[10] <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2691815/>
- ^[21] <https://www.racewhitetail.org/resources/hydration-new-fluid-replacement-recommendations-a-csm>
- ^[9] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8465972/>
- ^[13] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10781183/>
- ^[14] <https://www.hprc-online.org/physical-fitness/training-performance/do-you-need-sports-drink>
- ^[27] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8878406/>
- ^[28] <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/japplphysiol.01114.2016>
- ^[11] <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/japplphysiol.00391.2022>

1. <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.93.23.13367>
2. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37445706/>
3. <https://health.businessweekly.com.tw/article/ARTL000094424>
4. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11120308/>
5. <https://www.massey.ac.nz/about/news/which-sports-drinks-are-best-for-hydration/>
6. <https://www.drbg.net/2023/08/202308drinksforhydration.html>
7. https://sems.ch/fileadmin/user_upload/Zeitschrift/54-2006-3/Osmolality_54_3_06.pdf
8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17277604/>
9. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8465972/>
10. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2691815/>
11. <https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/japplphysiol.00391.2022>
12. <https://www.bmj.com/content/345/bmj.e4753/rr/595961>
13. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10781183/>
14. <https://www.hprc-online.org/physical-fitness/training-performance/do-you-need-sports-drink>
15. <https://health.ltn.com.tw/article/breakingnews/3680194>
16. <https://www.hksi.org.hk/tc/news-publications/scientific-publications/education-pamphlets/sport-nutrition-education-series/water-the-fountain-of-life>
17. https://www.apiam.pt/images/newsbreve/ficheiro/56_101_guidelines.pdf
18. <https://us.humankinetics.com/blogs/excerpt/dehydration-and-its-effects-on-performance>
19. <http://www.gssiweb.org/sports-science-exchange/article/the-fluid-replacement-process-principles-of-beverage-formulation-for-athletes>
20. https://www.nata.org/sites/default/files/fluid_replacement_for_the_physically_active.pdf
21. <https://www.racewhitetail.org/resources/hydration-new-fluid-replacement-recommendations-acsm>
22. Yun-Dong-Bu-Shui-De-Ke-Xue-Jue-Ze-Jie-Kai-Dian-Jie-Zhi-Yin-Liao-De-Huang-Jin-Bi-Li-Zhi-Mi.docx

23. 21494807815849AE9F9770C0FDDDAC8D-mark.pdf
24. <https://vocus.cc/article/64c4eba8fd897800016dbfc0>
25. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9303999/>
26. https://wikem.org/wiki/Reduced-osmolarity_oral_rehydration_solution
27. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8878406/>
28. <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/japplphysiol.01114.2016>