

Water and Electrolyte Balance in Elementary and Secondary Physical Education Students in a Hot Environment

熱環境下中小學生體育課中的水鹽丟失與補充

Yun-kun Zhang

*Department of Physical Education,
Nanjing Institute of Physical Education, CHINA*

Ming-kai Chin

*Department of Physical Education & Sports Science,
The Hong Kong Institute of Education, HONG KONG*

張蘊琨

中國南京體育學院體育系

錢銘佳

香港教育學院體育及運動科學系



Abstract

The present paper discusses the physiological and biochemical changes in elementary and secondary school students participating in physical activities in a hot environment. In addition the paper will evaluate the characteristics of water and inorganic electrolyte loss. There were very large differences in cardiovascular function, metabolism, perspiration and body temperature regulation between elementary and secondary school students, when exercising in a hot ambient environment. With this knowledge it is important that physical education classes be carefully developed, relative to duration and exercise intensity, when students are expected to be exposed to high ambient temperatures. Students should be encouraged to consume fluids, before, during and following exercise classes. Fluid replacement beverages should contain 6% carbohydrate and 18mMol/L of sodium.

摘要

本文闡述了熱環境下中小學生體育活動時身體的生理生化變化，尤其是水鹽丟失的途徑和特點，並對如何科學地組織安排中小學生的體育課，如何在課前、課中和課後合理地補充水和電解質提出了建議。

引言

熱環境一般是指氣溫在 30℃ 以上。人體在熱環境下從事體育活動，由於代謝產熱和環境熱兩種因素的聯合作用，機體處於環境和代謝的雙重應激狀態。體熱增加使血管擴張，引起大量出汗，血容量減少；排汗的同時，會引起鈉，鉀，氯等無機鹽不同程度的丟失，產生一系列身體反應，從而影響機體能力。

中小學生喜愛戶外活動，在體育課上更是有著極高的興奮性與積極性。然而，由於他們正處於身體生長發育時期，在身體和生理上與成人存在較大差異，體溫調節和內

環境平衡功能尚不完善，對熱負荷的適應性與耐受性較低 (Armstrong, 1995 Falk, 1998)，加上他們缺乏保健知識，自我保護意識較弱。因而，在熱環境下體育課時中小學生的水鹽丟失與補充以及如何防止脫水甚至中暑的發生，是值得重視與認真研究的課題。

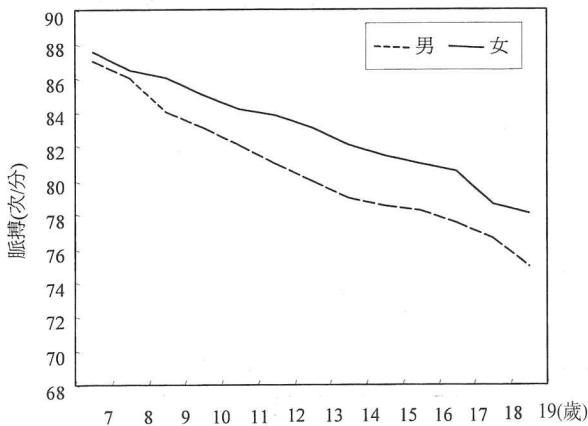
本文綜合了近年來國內外有關研究的進展，闡述熱環境下中小學生體育活動時身體的生理生化變化，尤其是水鹽丟失的途徑和特點，並對如何科學地組織和安排中小學生的體育課，如何合理地補充水鹽提出了建議。

熱環境下中小學生體育活動時身體的生理生化特點

心血管系統的特點

中小學生正處於生長發育階段，心臟發育尚不完全，因而心率較快，安靜時心率範圍為 75-86 次/分，隨年齡增長而逐漸減慢，見圖 1 (全國體育學院通用教材，1990)。

圖 1. 我國城市青少兒脈搏均值曲線



體育課上，由於身體活動導致交感神經調節佔優勢，主要通過心率加快來增加心輸出量。然而，心率加快也會減少心搏量。那蘭 (1998) 研究了 13-14 歲男女少年學生進行漸增負荷連續運動 9 分鐘，發現：心率分別為 122 次/分和 127 次/分時心搏量最大，心率分別大於 139 次/分和 144 次/分時，心搏量明顯降低。另一方面，與成人相比，少兒的絕對血容量較少 (Falk, 1998)。在熱環境下運動時，體熱增加使血管擴張，引起大量出汗，汗液丟失使血容量進一步減少，同時刺激心率加快以滿足血液供應的需要。Wagner 等 (1992) 也曾報告：熱環境下運動，少兒較成人有

較高的心率。而且，心率的變化隨運動強度的變化而發生相應變化，強度越大，心率加快越明顯。因此，在熱環境下中小學體育課安排的負荷強度應低於一般氣溫條件下。

新陳代謝特點

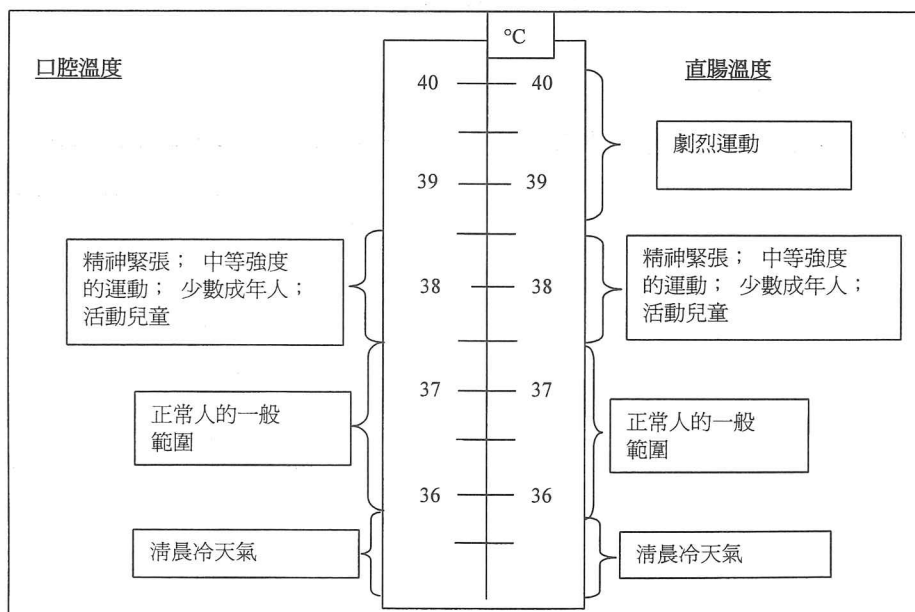
運動中，新陳代謝的熱量與活動的肌肉群相關，活動的肌肉所承受的運動負荷大，新陳代謝也就加快，產熱隨即增加。少兒在體育運動中，每單位體重的氧消耗大於成人，這就引起較高的新陳代謝熱量。Bar-Or (1983) 發現：以 8Km/h 速度下運動時，一個 7 歲男孩比一個 17 歲青年男子每單位體重要多消耗 20% 能量。少兒較高的新陳代謝水平給溫度調節系統增加了負荷。

體溫及其調節特點

人體在不斷代謝過程中釋放能量，能量的有效利用率約為 30-40%，其餘轉變為熱能，這就是體溫的來源。正常體溫的維持是靠產熱和散熱的動態平衡達到的。人體的散熱方式有皮膚散熱、呼吸道蒸發、尿的排泄等，其中皮膚散熱是最主要方式，它又靠輻射、傳導、對流、蒸發四種途徑來實現。當溫度在 28-30℃ 以上時，人體汗液分泌增加，蒸發成為散熱的主要方式。

正常人不同狀態時體溫變化如圖 2 (全國體育學院通用教材，1990)。人體運動時新陳代謝加強，大約 80% 的代謝燃料通過骨骼肌轉變為熱，體內產熱可比安靜時高 10-15 倍 (Armstrong, 1995)。加之在熱環境下運動，雖通過體溫調節增加散熱過程，但因落後於產熱而使體溫明顯升高。Tamura 等 (1996) 研究發現，體溫隨游泳速度增快而增加，游泳速度與汗液丟失高度相關。

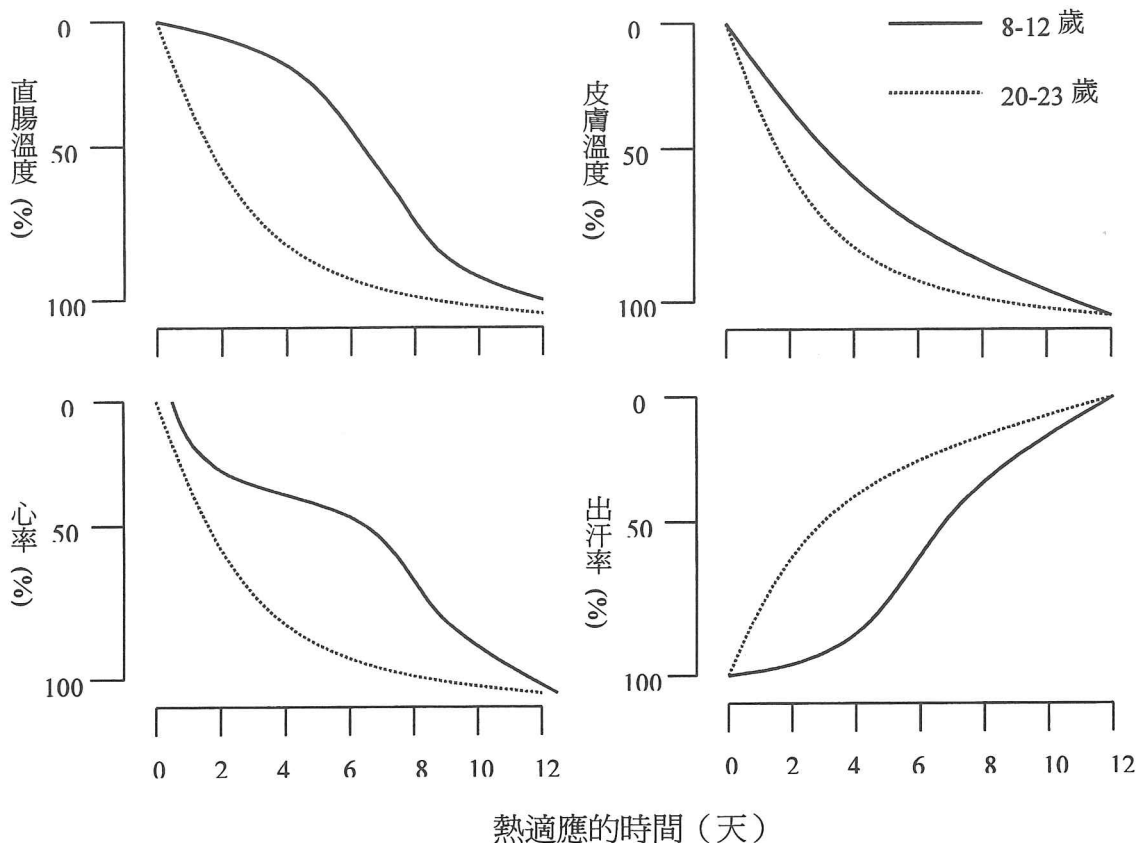
圖 2. 正常人不同狀態時的體溫變化



少兒的皮膚與直腸溫度均高於成人 (Falk, 1998)，排汗器官對熱的敏感性也顯示兒童比成人低，引發排汗反應的體溫變化是這種敏感性的一個指標。Araki 等 (1979) 論證了在熱環境下運動成人在直腸溫度增加 0.2℃ 後開始排汗，而男孩在增加 0.7℃ 後開始，即排汗閾較高，認為這可能是兒童皮膚溫度較高的原因之一。少兒在熱環境下運動時的排汗率又低於成人，他們較多地依賴乾熱交換，即輻射、對流等方式散熱 (Falk, 1998)，而在周圍環境溫度高於體溫時，只能是吸收周圍高熱物體的輻射而使自身體溫升高，當氣溫達 34.5℃ 時，對流散熱減少至零。這些均表明，中小學生

在熱環境下運動時，體溫調節能力較低，散熱機制較弱，熱適應性較差，尤其是熱適應率較慢。Inbar (1978) 報道，2 周中每周 3 次的熱環境下運動 (43℃，21% 相對濕度) 8-10 歲男孩與年輕男子相比，氣候適應性相似，但適應率比成人要慢，見圖 3 (Armstrong, 1995)。此結論也被 Wagner 等 (1992) 證實。

圖 3. 8-10 歲男孩和 20-23 歲年青男子熱氣候適應過程的生理適應性 (直腸溫度、皮膚溫度、心率和排汗率的適應性是以最終適應值的百分比來表示的，基礎值是 0%)



熱環境下中小學生體育活動時水鹽丟失的特點

高溫環境下運動，汗液蒸發是人體散熱，維持機體熱平衡的主要途徑。與成人一樣，少兒水分丟失的主要途徑是排汗，少部分通過尿和呼吸形式排出 (Bar-Or, 1996)，這樣，會出現不同程度的水鹽丟失而失去平衡，見表 1。

表 1. 成人熱環境下(劇烈運動)的水平衡

每天水攝入(ml)		每天水排出 (ml)	
來源	量	去路	量
食物	1000	尿	500
飲品	1200	糞便	100
代謝	350	皮膚	5000
		肺	700
總計	2550	總計	6300

另一方面，少兒的排汗機制、體溫調節、對激素的敏感性等多方面生理特點與成人存在較大的差異，見表2。

表2. 熱暴露下兒童和成人生理反應的區別 (Falk, 1998)

生理反應		兒童與成人相比
體溫	直腸	安靜時 類似或較高 運動時 較高
	皮膚	安靜時 較高 運動時 較高
代謝	吸氧量	安靜時 較高 運動時 類似或較高
	心輸出量	安靜時 較低 運動時 較低
循環	心搏量	安靜時 較低 運動時 較低
	心率	安靜時 較高 運動時 較高
	皮膚血流量	安靜時 ? 運動時 較高
	血壓	安靜時 較低 運動時 ?
激素的反應	體液和電解質調節	安靜時 類似或較低 運動時 類似或較低
	應激激素	安靜時 類似或較低 運動時 類似
排汗率	每表面積	安靜時 較低 運動時 較低
	每汗腺	安靜時 較低 運動時 較低
汗液成分	鈉、氯、鉀	類似或較低 類似或較高
	乳酸	較高
體液調節	脫水率	類似

體表面積與體重比值的特點

少兒與成年人之間影響體溫調節的主要身體差異在於兒童有較大的體表面積率(Falk, 1998)，身體與環境之間的熱傳遞與裸露的表面積有關，8-9歲的兒童體表面積(130CM，20Kg，0.87M2)要比成人多40%(175CM，67Kg，1.81M2)。當環境溫度大於皮膚溫度時，會從外環境中吸收更多的熱量 (Epstein, 1983)。

排汗機制的特點

熱環境下運動，少兒與成年人在生理上的主要區別是排汗機制，這影響了他們在熱環境下的體溫調節，見表3 (Armstrong, 1995)。

表3. 少兒與成人身體和生理上的區別對體溫調節的影響 (Armstrong, 1995)

區別	對體溫調節的影響
身體上 較大的體表面積/ 體重	在熱環境下增加熱的獲得 在溫暖和冷環境下增加熱的丟失
每單位體表面積較低的血容量	可能影響 (損害、危害) 外周、肌肉和中樞神經系統的灌注
汗腺較小	汗腺排泄量較低
生理上 運動時的氧氣消耗較多	每公斤體重有較多的代謝熱產生
最大心輸出量較低	可能影響外周、肌肉和中樞神經系統的灌注
汗腺密度較低	排汗閾較高 排汗開始時間較長 排汗速率較低
汗腺無氧代謝能力較低	排汗速率較低
熱環境下運動催乳素的反應較低	可能影響汗液中電解質成分

相同條件下，少兒出汗率較低，這是因為每個汗腺排汗率低，而不是因為汗腺數量少 (Armstrong, 1995; Bar-Or, 1989)，而排汗率低是由於少兒的汗腺小，排汗密度低，汗腺本身的新陳代謝較低所致，兒童時期，汗腺的大小直接與年齡和身高有關。另一方面，少兒較低的心輸出量和血容量，可能阻礙身體從工作肌肉到外周直至外環境的熱傳遞 (Falk, 1998)。研究表明，當在安靜不運動時 (Araki, 1979; 章碩, 1998; 陳吉棣, 1998) 也認為，青少年運動員每小時出汗率和單位體表面積出汗率約為成人的 1/3 至 2/3。暴露在一個完全相同的高溫環境中，兒童的出汗很少超過 350-400ml/h.m2。由此可見，熱環境下中小學生體育活動時產熱多，而排汗率又較低，限制其蒸發散熱，易引起散熱不暢，體內積熱增多而導致脫水甚至中暑的發生。

電解質丟失的特點

熱環境下運動，機體內無機鹽隨汗液的分泌排出，這在少兒與成人間也存在差異。一些學者認為，少兒汗液中鈉、鉀、氯較成年男女要少 (Falk, 1998; 章碩, 1998)，也有學者認為，兒童汗液中鉀和乳酸鹽的分泌比例高 (Falk, 1991; Meyer, 1992)。Verde (1982) 認為：汗鎂含量與出汗率呈負相關，章碩等 (1998) 也發現少年排球運動員出汗量大的人汗液中鎂含量較低。

Meyer (1992) 認為汗電解質濃度隨年齡而變化，章碩 (1998) 則進一步解釋為：少年汗電解質變化較小，可能是由於年齡較小，汗腺導管對血漿醛固酮水平的敏感度不同或激素受體數目與成人不同。

熱環境下體育課的科學組織安排與水鹽的合理補充

體育課的科學組織與安排

根據少兒的身體特點和生理生化的特點，體育教師對熱環境下的體育課更應注意組織安排的科學性與合理性。

- (1) 負荷量與強度不應過大，多採用發展有氧代謝能力為主的練習，心率最好控制在 115-144 次/分。

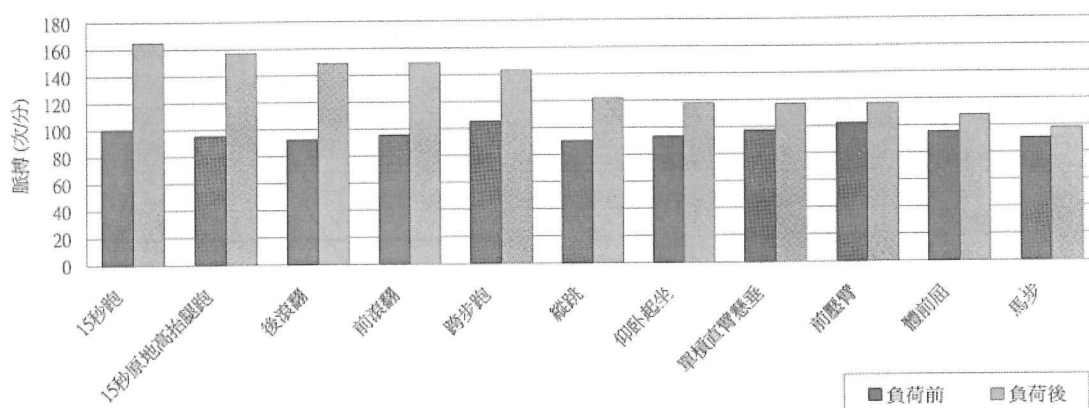


圖 4. 不同性質活動對脈搏的影響

- (4) 注意個別對待，細心觀察每個學生的身體反應，若有中暑等癥兆，應及時診治。

水與電解質的合理補充

由於少兒有著較低的心輸出量，以及失水和體溫升高對機體的不良影響，因此，體育課上防止脫水顯得尤為重要，體育教師應給予科學的指導。

水鹽補充的時間

熱環境下，中小學生在體育課的課前、課中和課後都應適量補充水分，課前應準備好飲用水，可適量飲水，以使體內儲備充足的水分。

上課時教師應同意學生隨時飲水，因為當學生感到口渴時再飲水，身體已缺水。章碩 (1998) 發現隨運動時間延長，汗中電解質濃度遞減。因此，應重視體育課上開始 20 分鐘左右學生水鹽的補充。課後，學生的飲水應一直持續到身體休息後完全恢復。

飲料的無機鹽濃度與口味

Bar-Or (1996) 特別推薦了添加氯化鈉和碳水化合物的飲料，尤其是葡萄汁，他發現，飲用不含鈉飲料的兒童，在運動後鈉的不足要比攝取氯化鈉組明顯得多。另一方面，味道的添加，以及碳水化合物和氯化鈉的添加加強了兒童的口渴感，有助於減少炎熱環境下鍛鍊過程中的主動失水量。

- (2) 應根據環境溫度來調節體育課開始時準備活動的時間和強度，熱環境下適當縮短準備活動時間，降低強度，以減少體熱的產生。
- (3) 體育課的內容形式應生動活潑，多樣化。楊桂雲等 (1998) 研究了不同性質體育活動時的心率變化 (如圖 4)，發現活動的形式內容不同，對心率的影響不同。

Meyer 等 (1994) 報道，9-13 歲少兒在 35℃ 下 90 分鐘訓練，引發失水達體重 0.76%，可增加少兒的飲水傾向，且葡萄汁、桔汁口味更受歡迎，他們建議熱環境運動後應鼓勵學生飲水並延長到恢復期。章碩等 (1998) 通過實驗發現，含鈉量為 18mMol/L 的飲料最有助於穩定鈉、鉀、鎂濃度，可部分補充汗液中無機鹽的丟失，使電解質在運動後一階段的下降程度減輕，認為是較適宜的飲料濃度。

Wilk 及 Bar-Or (2000) 近期實驗表明，以 9-12 歲男孩為對象，在炎熱環境下作間歇性練習，給無味的水，平均攝入量為 610 克，這不足以防止逐漸增加的主動失水量；當加入葡萄口味後，攝入量升至 882 克，但仍不足以防止輕度失水，當飲料中加入含 6% 碳水化合物和 18.5 mMol/L 氯化鈉時，平均攝入量升至 1167 克，這可維持整個練習期間的輕度脫水。

我國學者實驗結果也表明 (陳吉棟, 1998)：給予青少年運動員四種不同含鈉量飲料，從血壓、體溫增加值、體熱蓄積、出汗量、血漿滲透壓、血漿鈉水平、血容量以及飲料的口感等指標綜合評定，並結合受試者對飲料口感的反應，含鈉量為 18mMol/L 和 39mMol/L 的飲料被認為最佳。

飲水的量與溫度

課中和課後，飲水應少量多次，不超過 1 升/小時，一次為 100-150 毫升，每次間隔 15 分鐘左右，切忌暴飲，因為大量水分進入血液，使血液稀釋，血容量驟增，加大心

臟負擔，過多的水分還增加腎臟的負擔，且大量水分排出會導致電解質的損失。

飲水的水溫應大於 5℃ 而小於 15℃，因為運動後體溫升高，血流加快，血液大量流向皮膚和肌肉，腸胃處於相對缺血狀態，如飲入大量冷或冰飲料胃部血管收縮，消化道強烈蠕動，易產生痙攣，出現腹痛腹瀉等。因此，體育教師應向學生宣傳科學飲水知識，指導他們科學地飲水。

總結

中小學生的心血管系統功能、新陳代謝、排汗機制及體溫調節與成人有較大差異，熱環境下進行體育活動時心率加快，體熱增加，水和無機鹽丟失增多，另一方面，排汗率較低，血容量和心輸出量較少，蒸發散熱受到限制，導致對熱的適應性和耐受性較低。因此應有效地防止脫水甚至中暑的發生。

體育教師應根據少兒的生理生化特點，科學組織與安排體育課，負荷量與強度不能過大，體育課內容形式應多樣化，並細心觀察學生的身體反應。熱環境下，體育課的課前、課中和課後都應適當飲水，飲品中含 6% 左右碳水化合物和含鈉量 18mmol/L 為較適宜的添加濃度，葡萄、桔子口味可能更受中小學生的歡迎。

參考文獻

- Araki, T., Todo, A., Matsushita, K., & Tsujino, A. (1979). Age differences in sweating during muscular exercise. *J. Phys. Fit. Sports Med*, 28, 239-248.
- Armstrong, L. E., & Maresh, C. M. (1995). Exercise-heat tolerance of children and adolescents. *Pediatric Exercise Science*, 7, 239-252.
- Bar-Or, O. (1983). *Pediatric sports medicine for the practitioner*. New York: Springer Verlag, 259-299.
- Bar-Or, O. (1989). Temperature regulation during exercise in children and adolescents. In C.V. Gisolfi and DR Lamb (Eds) *Perspectives in Exercise and Sport Medicine*, pp. 335-367. Indianapolis, IN: Benchmark.
- Bar-Or, O., & Wilk, B. (1996). Water and electrolyte replenishment in the exercising child. *International Journal of Sport Nutrition*, 6, 93-99.
- Epstein, Y., Shapiro, Y., & Brill, S. (1983). Role of surface area-to mass ratio and work efficiency in heat tolerance. *J. Appl. Physiol*, 54, 831-836.
- Falk, B. (1998). Effects of the thermal stress during rest and exercise in the paediatric population. *Sports Med*, 25(4), 221-240.
- Falk, B., Bar-Or, O., & Macdougall, J. D. (1991). Sweat lactate in exercising children and adolescents of varying physical maturity. *J. Appl. Physiol*, 71, 1735-1740.
- Inbar, O. (1978). *Acclimatization to dry and hot environment in young adults and children 8-10 years old*. Columbia University.
- Meyer, F., Bar-Or, O., & Macdougall, J. D. (1992). Sweat electrolyte loss during exercise in the heat: Effects of gender and maturation. *Med. Sci. Sports Exerc*, 24(7), 776-781.
- Meyer, F., Bar-Or, O., Salsberg, A., & Pass, D. (1994). Hypohydration during exercise in children: Effect on thirst, drink preference and rehydration. *International Journal of Sport Nutrition*, 4, 22-35.
- Tamura, A. (1996). *Body temperature changes and sweat loss during swimming in warm water*. Abstract book of the 1996 International Pre-Olympic Scientific Congress, 111.
- Verde, T., Shephard, R. J., Gprey G.P., & More, R. (1982). Sweat composition in exercise in the heat. *J. Appl. Physiol*, 53, 1540-1545.
- Wagner, J. A., Robinsons, S., & Tzankoff, S. W. (1992). Heat tolerance and acclimatization to work in the heat in relation to age. *J. Appl. Physiol*, 33, 616-622.
- Wilk, B., & Bar-Or, O. (2000) Effect of drink flavor and NaCl on voluntary drinking & hydration in boys exercising in the heat. *J. Appl. Physiol*. (In press).
- 全國體育學院通用教材 (1990)。《運動生理學》第一版。人民體育出版社。
- 那蘭 (1998)。13-14歲少年適宜健身運動負荷強度的實驗報告。《體育學刊》。第3期，36-38頁。
- 陳吉棟、李可基、艾華 (1998)。少年運動員在熱環境運動補充不同含量飲料的生理反應。《中國運動醫學雜誌》。第17期，4號，323-327頁。
- 章碩、陳吉棟、李可基 (1998)。青少年運動員熱環境運動補液時汗電解質研究。《體育科學》。第18期，2號，66-72頁。
- 楊桂雲、盧靜 (1998)。體育課不同性質活動對脈搏影響初探。《哈爾濱體育學院學報》。第16期，2號，57-59頁。