

HKSI 学术交流与研讨



# 高温环境与运动训练与比赛



赵杰修

博士、研究员

国家体育总局“优秀中青年专业技术人才百人计划”入选者  
中国体育科学学会运动生理学与生物化学分会副秘书长





2009年12月30日，澳大利亚佩斯，当全世界大部分地区都处在寒冷的冬季的时候，澳洲正直炎热的夏季，在佩斯温度高达40度



“全球气候变暖的大背景下，极端天气事件出现的频次正在增加，尤其是极端高温事件。”

# 基本框架

1. 高温案例
2. 高温高湿环境对运动员生理与心理的影响
3. 高温高湿环境训练和比赛时应对措施
4. 运动员在高温环境体温测试时的方法
5. 运动与高温环境的新思考



# 圣路易斯1904：马拉松成绩最慢

- \* 冠军HICK的成绩为3小时28分53秒，比雅典和巴黎冠军成绩慢了半小时，成为奥运会历史上马拉松成绩最慢的一次。



# 伦敦1908，冠军的丢失

- \* 异常湿热
- \* DORANDO意大利选手在离终点不到100米的地方中暑，医务人员扶到终点
- \* 51%选手退出比赛



# 斯德哥尔摩1912：选手的死亡

- \* 30-32 °C
- \* 50%选手退出
- \* 葡萄牙选手Francisco Lazaro晕倒，送入医院，高热不退不幸去世
- \* 日选手55年完成马拉松奥运史上耗时最长的比赛

EMOTTAGEN  
SEP 11 - 30th 1912

ENTRY FORM  
FOR  
ATHLETICS  
AT THE STADIUM, SATURDAY, JULY 20th - SUNDAY, JULY 21st 1912  
ENTRIES CLOSE JUNE 6th, 1912

The Entry Form must be for the benefit of the Swedish Olympic Committee and have thereon a white envelope  
between the 6th & 7th of June, 1912.  
Entries must have their name on the envelope.

Entries shall be made in typed or other distinct Latin characters.  
A separate form for each event must be filled in by each competitor.

In case of such competitors, who SPECIAL ENTRY FORMS are to be used, the form, containing the name, sex and AGE  
SPECIFIC ENTRY FORM, signed by the qualified referee responsible of the country for the athlete's competition and entrance.

1. COMPETITION	Marathon
2. NATION which the competitor represents	Japan
3. NAME of Competitor in full (Write distinctly)	Seisō Kurokiri
4. DATE OF BIRTH	Aug. 20th 1891.
5. PLACE OF BIRTH	Kumamoto Japan
6. Date of NATURALISATION This form is to be filled in by the competitor if he is not a citizen of the country in which he is competing. It may be filled in by a third party, but must be signed by the competitor.	

Declaration to be signed by the competitor.

I hereby declare that the above statement is correct and that I am an amateur in accordance with the following conditions:

1. I have never received any prize for money or other valuable consideration in connection with any athletic performance.
2. I have never received any prize for money or other valuable consideration in connection with any athletic performance.
3. I have never received any prize for money or other valuable consideration in connection with any athletic performance.
4. I have never received any prize for money or other valuable consideration in connection with any athletic performance.

By signing, I engage to defend and accept the Rules, Regulations and Conditions for the Olympic Games of Stockholm 1912.

I also engage, in the event of my winning a Challenge Cup, to give the prize to the person designated by the Swedish Olympic Committee.

Signature of Competitor:  
Seisō Kurokiri

Declaration to be signed by the Governing Athletic Organisation of the country.

This includes and is signed by the Governing Athletic Organisation which pays the competitor or who is well acquainted with the competitor and who is well acquainted with the competitor and who is well acquainted with the competitor.

We hereby declare that the above statement is correct in the best of our knowledge and belief and we herewith undertake the competitor for the same statement when necessary.

Signature of the Competitor:  
Seisō Kurokiri

Signature of the Competitor:  
Hajime Omori

F. O. S.

# 巴黎1924：延迟比赛、缓解高温

- \* 前一天10000米越野赛多名运动员虚脱，并送入医院
- \* 推迟了150分钟





**2009年1月31日**  
**2009澳大利亚网**  
**球公开赛**



# 实践需要

2014年，巴西作为第20届世界杯的举办国家，由于其地理位置处于热带地区，热带炎热的气候成为影响竞技比赛成绩和运动员运动能力的主要因素。在巴西世界杯期间，如何在赛前通过预冷降温的方法应对高温环境，提高运动员的运动能力，提升比赛的成绩，已经成为各支参赛球队前往巴西最先克服的难题。



FIFA WORLD CUP  
Brasil



# 实践需要



**2016**年第**31**届夏季奥林匹克运动会同样在炎热的巴西举办，面对高温天气，如何在赛前通过预冷降温的方法应对高温环境，已经成为各个国家代表队的攻关课题。



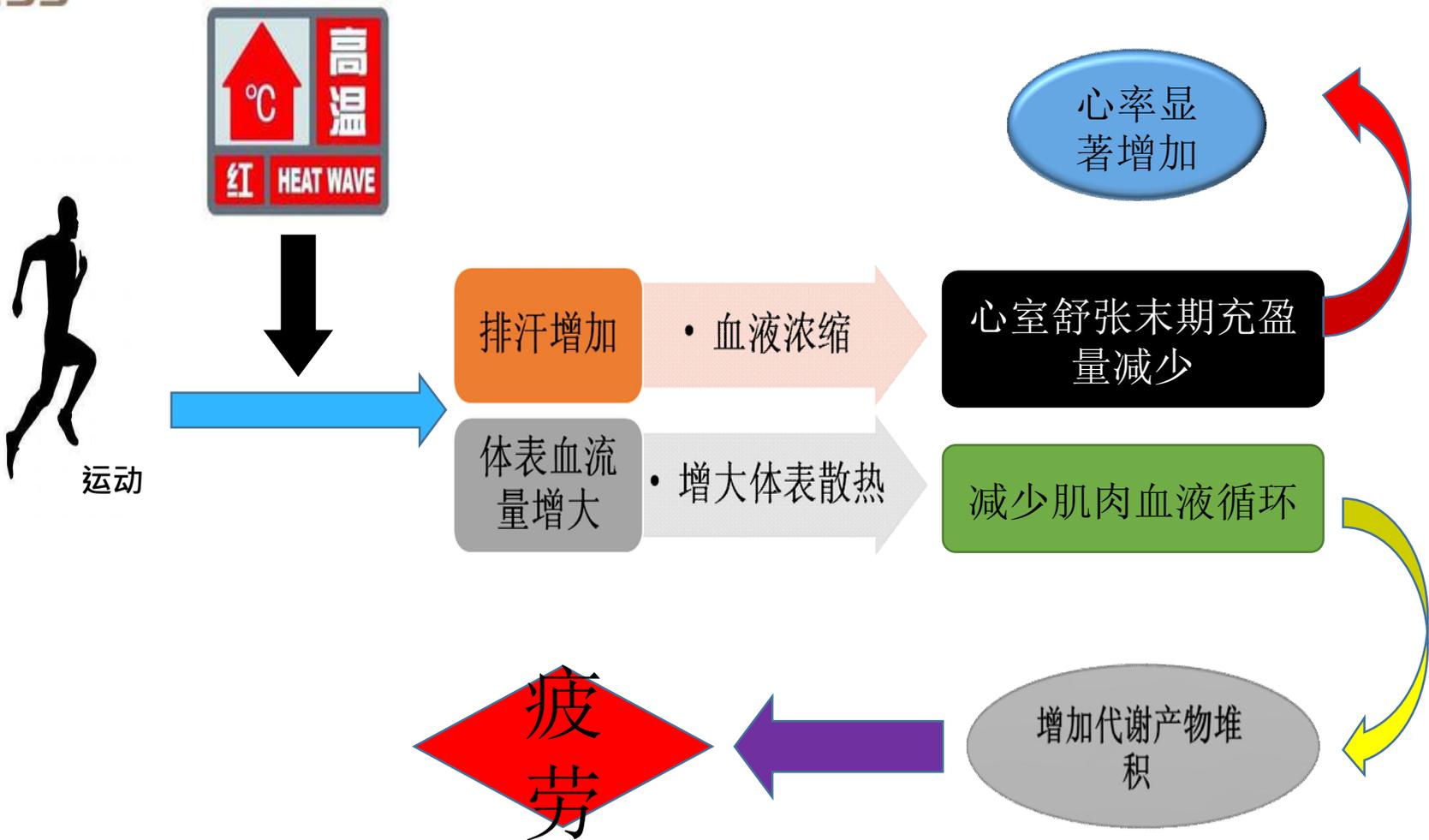
# 引言

- \* 北京奥运会：在2008年北京奥运会比赛37个运动项目中，至少有16个运动项目(如田径、现代五项、沙滩排球、足球、击剑、曲棍球、柔道、网球、摔跤、铁人三项等)涉及运动性热应激方面的问题，其中对于体能类项目的影响尤为突出。





# 影响原理



- \*2007年3月在深圳举行的国际竞走挑战赛
- \*比赛当天也出现了高温情况，尽管比赛名次是非常理想，但除了刘虹成绩比哈亚运会成绩提高外，多数选手成绩不是非常理想。



# 温度、湿度对体能影响

- \* 温度与湿度的不同配合对体育运动有不同的影响，例如：**相对湿度为30%时，温度40°C**则体能难以发挥，甚至中暑；而**相对湿度为50%时，温度38°C**则体能难以发挥，甚至中暑；若**相对湿度为85%，则温度为30—31°C**就会使体能难以发挥，甚至中暑。



# 汗液测试和水平衡现状



测试前准备



收集尿样，测尿比重



运动前称重



贴汗贴



安置遥测心率器



纪录心率



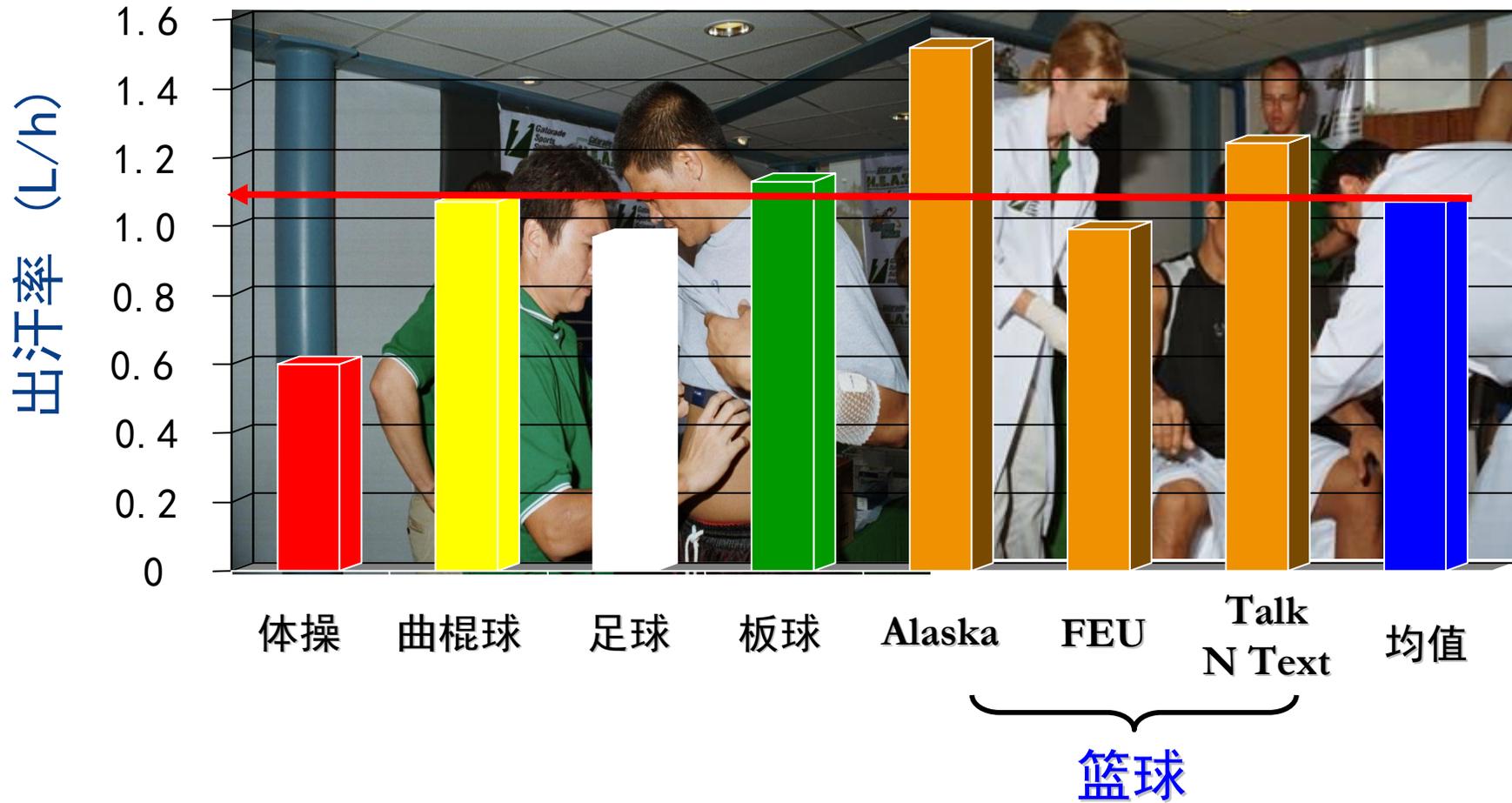
取下汗贴



运动后称重

# 汗液测试和水平衡现状

## 亚洲运动员的出汗率



# 汗液测试和水平衡现状

## 小结

- \* ~60% 的运动员在运动前就处于脱水或较差的体液平衡状态；
- \* 亚洲运动员的出汗率与西方运动员没有显著的差异；
- \* 运动员通常在运动中没有完全或合理的补充丢失的体液；
- \* 亚洲运动员的汗液钠丢失处于平均水平；
- \* 补液不能依赖口渴的感觉或自我感觉；
- \* 运动员的科普教育对科学补液和维持体液平衡有显著的促进作用。

# 运动员的汗液丢失量

TABLE 2. Observations of sweat rates, voluntary fluid intake and levels of dehydration in various sports. Values are mean, plus (range) or [95% reference range].

Sport	Condition	Sweat rate (L·h <sup>-1</sup> )		Voluntary fluid intake (L·h <sup>-1</sup> )		Dehydration (% BM) (= change in BM)	
		Mean	Range	Mean	Range	Mean	Range
Waterpolo [41]	Training (males)	0.29	[0.23–0.35]	0.14	[0.09–0.20]	0.26	[0.19–0.34]
	Competition (males)	0.79	[0.69–0.88]	0.38	[0.30–0.47]	0.35	[0.23–0.46]
Netball [16]	Summer training (females)	0.72	[0.45–0.99]	0.44	[0.25–0.63]	0.7	[+0.3–1.7]
	Summer competition (females)	0.98	[0.45–1.49]	0.52	[0.33–0.71]	0.9	[0.1–1.9]
Swimming [41]	Training (males & females)	0.37		0.38		0	(+1.0–1.4 kg)
Rowing [22]	Summer training (males)	1.98	(0.99–2.92)	0.96	(0.41–1.49)	1.7	(0.5–3.2)
	Summer training (females)	1.39	(0.74–2.34)	0.78	(0.29–1.39)	1.2	(0–1.8)
Basketball [16]	Summer training (males)	1.37	[0.9–1.84]	0.80	[0.35–1.25]	1.0	[0–2.0]
	Summer competition (males)	1.6	[1.23–1.97]	1.08	[0.46–1.70]	0.9	[0.2–1.6]
Soccer [130]	Summer training (males)	1.46	[0.99–1.93]	0.65	(0.16–1.15)	1.59	[0.4–2.8]
Soccer [89]	Winter training (males)	1.13	(0.71–1.77)	0.28	(0.03–0.63)	1.62	[0.87–2.55]
American football [62]	Summer training (males)	2.14	[1.1–3.18]	1.42	[0.57–2.54]	1.7 kg (1.5%)	[0.1–3.5 kg]
Tennis [15]	Summer competition (males)	1.6	[0.62–2.58]	~1.1		1.3	[+0.3–2.9]
	Summer competition (females)		[0.56–1.34]	~0.9		0.7	[+0.9–2.3]
Tennis [14]	Summer competition (cramp-prone males)	2.60	[1.79–3.41]	1.6	[0.80–2.40]		
Squash [18]	Competition (males)	2.37	[1.49–3.25]	0.98		1.28 kg	[0.1–2.4 kg]
Half marathon running [21]	Winter competition (males)	1.49	[0.75–2.23]	0.15	[0.03–0.27]	2.42	[1.30–3.6]
Cross-country running [62]	Summer training (males)	1.77	[0.99–2.55]	0.57	[0–1.3]	~1.8	
Ironman triathlon [133]	Temperate competition (males & females)						
	Swim leg					1 kg	(+0.5–2.0 kg)
	Bike leg	0.81	(0.47–1.08)	0.89	(0.60–1.31)	+0.5 kg	(+3.0–1.0 kg)
	Run leg	1.02	(0.4–1.8)	0.63	(0.24–1.13)	2 kg	(+1.5–3.5 kg)
Total race			0.71	(0.42–0.97)		3.5%	(+2.5–6.1 %)

+ = gain in BM; ^not corrected for change in BM that occurs in very prolonged events due to factors other than fluid loss (e.g. metabolic fuel losses).

# 运动性脱水的表现

- \* 轻度脱水：失水量为体重的2%左右。血容量减少，造成运动时心脏负担加重，运动能力受到影响，表现为感到**出现尿少**、尿钾丢失增多等。
- \* 中度脱水：失水量为体重的4%左右。表现为**严重的口渴感、心率加快、体温升高**、血压下降、易疲劳、运动能力下降。
- \* 重度脱水：失水量为体重的6%以上。表现为呼吸频率增加、恶心厌食、易激怒、**肌肉抽搐，甚至中暑、肌肉痛性痉挛**。

# 补液的指征

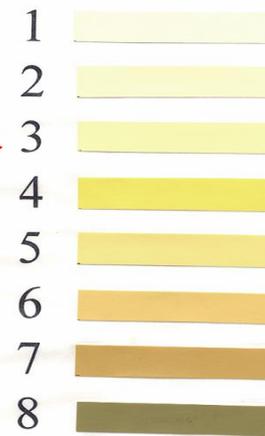
口渴感：**3%体重的水丢失时才会感到口渴**；口渴感仅可作为确定轻度脱水并防止中度和重度脱水的一种自我指标，不能依靠其做为防止轻度脱水进行补液的指征。

要根据运动员的个人体质、运动训练或比赛的情况和环境因素以及以往的经验，及时补液，甚至在训练前或赛前预防性补液，避免运动性脱水的发生。

## 日常机体脱水的判断方法

运动员可以通过检查尿的颜色监测是否脱水。清亮、无味、淡色的尿液指示机体不脱水，而深色的尿液提示运动员可能脱水。

Urine Color Chart

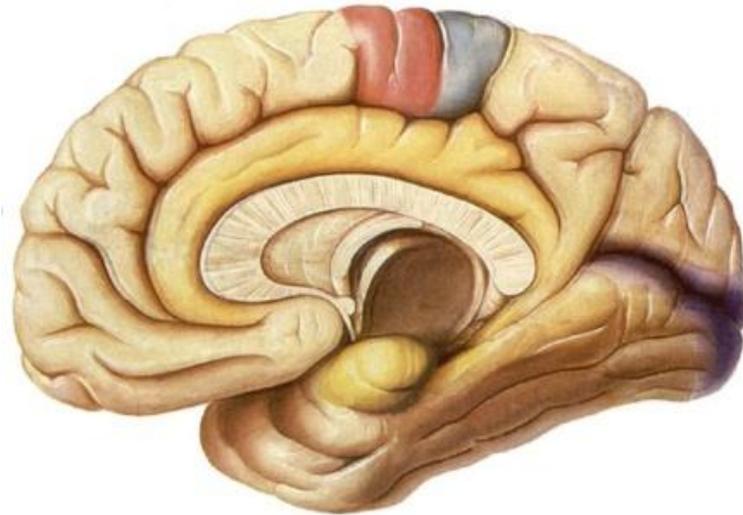


# 高温高湿环境对运动员生理影响

- \* 心血管系统
- \* 消化系统
- \* 神经内分泌系统
- \* 血液循环系统
- \* 免疫系统

## (1) 心血管系统的反应

- \* 高温环境下疲劳时临界核心温度而出现水合、心血管应激、压力感觉器和代谢感受器反馈可能均是高温疲劳的因变量，而非引起高温疲劳的直接因素。



## ( 2 ) 消化系统的反应

- \* 人体在高温高湿环境下，**消化系统出现功能低下的反应**：胃肠收缩和蠕动减弱，食欲减退、消化不良及其它胃肠疾病。



## (3) 神经内分泌系统的反应

- \* 中枢神经系统出现**先兴奋后抑制**的现象。如果抑制作用占优势，可出现注意力不集中，神经肌肉兴奋性降低，肌肉活动能力减弱，动作反应迟缓。动作的准确性和协调性降低，容易发生运动损伤。



## (4) 血液循环系统的反应

- \* 高温高湿环境下，血液重新分配，心肌收缩频率和强度增加，糖原分解加快，心肌产能和耗能增加，提高了心输出量，大量血液流入体表，从而导致有效循环血量相对不足。



## (5) 免疫系统的反应

- \* 高温高湿环境下运动员机体的免疫降低，抗体形成受到抑制，抗病能力下降，易感冒或腹泻。
- \* 运动后“开窗期”。

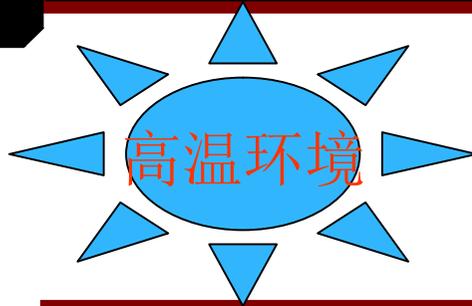


# 机体存在着差异



黑人

较白人更能适应热应激。



白人

不能象常温环境时保持热平衡而引发跑速显著下降；在体温升高至一定温度之前减慢跑速。

# 高温高湿环境对运动员心理的影响

- \* 竞技心理不过硬的运动员在高温高湿环境下进行比赛时，往往表现出对于陌生（新）比赛环境的恐惧感，导致运动员训练成绩很高但比赛时却发挥不出来的后果。

# 影响人体高温高湿环境机能反应的因素

- \* (1) 年龄
- \* (2) 身高与体型
- \* (3) 肥胖
- \* (4) 身体机能

## (1) 年龄

- \* 少年儿童因发育不完全，老年人因体温调节能力下降，均降低对湿热的适应能力。11岁以下及46~67岁的人与15~29岁的人比较，发汗能力低，在湿热环境中的运动能力也低。

## (2) 身高与体型

- \* 如果处在湿度较高，炎热的环境中，体热蓄积量随体表面积/体重比值的增大而明显减少，瘦高的人容易散热。
- \* 身高与体型这一因素与炎热有关。

## (3) 肥胖

- \* 皮下脂肪过多会影响体热散发。
- \* 因此，高温高湿对肥胖者的影响较大。
- \* 在高温高湿环境运动时肥胖者的体温升高明显、心率增加较多，同时发汗较少。

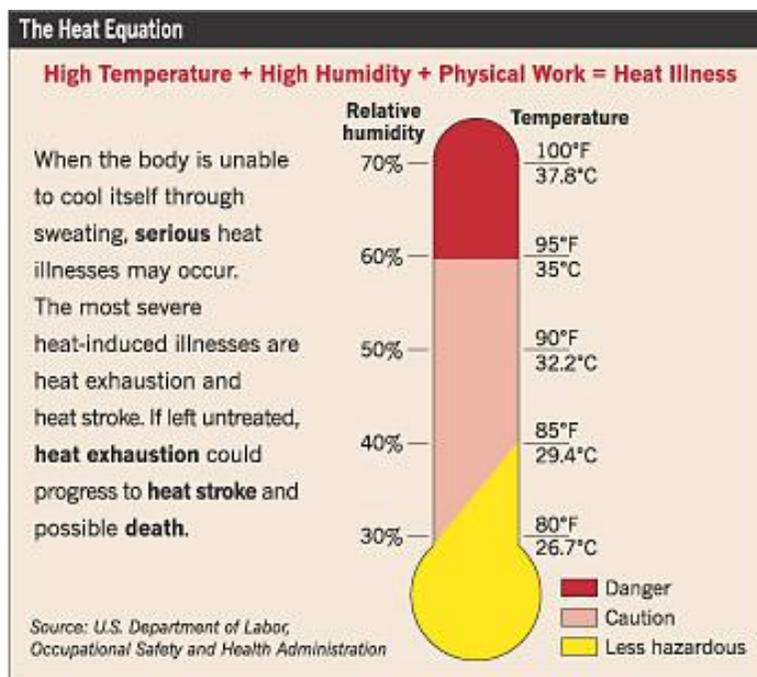
## (4) 身体机能

- \* 身体机能好的人，特别是**耐力好的人**，**耐高温高湿的能力较强**。通过运动训练可以提高人体机能，同时也能提高耐高温高湿的能力。



## 3、运动与高温高湿热应激的对策

- \* 提高运动员的高温高湿环境适应能力
- \* 科学的进行膳食营养补充和液体补充
- \* 合理的使用物理降温手段



# 耐热训练的基本原则

- \* 耐热训练目的性要强：通过气象预测比赛地、比赛时间段的温度与湿度，**完全模拟比赛时的温湿度，最好也考虑辐射、风力、风向等因素。**
- \* 训练要有足够的热强度：一般以气温 $31-35^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $60-70\%$ 以上为宜。
- \* 足够的运动强度：结合训练，采取短跑、快走、慢跑、负重行军、爬山、长跑等方式，运动强度要在最大吸氧量的 $50-60\%$ 以上。
- \* 合理的训练持续时间：训练要使人体生理反应达到一定的紧张程度才有效(如核心体温达到 $38.5^{\circ}\text{C}$ ，心率达到 $160$ 次/分等)。通常规定每次训练时间为 $1.5-2$ 小时。

# 耐热训练的基本原则

- \* 训练要连续进行：一般完成热适应所需时间为**2周**。  
**2周内连续训练10-12次**。
- \* 要巩固效果：热适应形成后可保持1-2周，此后如不巩固训练会逐渐消退(即脱适应)。因此，在获得热适应后，还需**每周训练1-2次**，以巩固效果。
- \* **循序渐进，合理安排**：训练强度应由小到大，训练初期的热强度和运动强度不宜太大，或时间不必持续2小时。两三天后达到规定的要求以训练时体温和心率原则上不超过耐受上限(核心体温38.5-39.0℃，心率达到160-170次/分)为依据。

# 耐热训练方法

- \* 一般分为特异性训练(如自然热气候或人工热环境下训练)和非特异性训练(非热区的训练)两类。特异性训练是热的直接作用，热适应形成较完全。非特异性训练是间接作用，热适应形成不完全。



# 耐热训练方法

- \* 为使训练时核心体温和心率能达到而又不超过耐受上限，在热强度较小时可增加运动强度或延长持续时间；在热强度较大时可降低运动强度或减少持续时间。
- \* 训练期应监测核心体温、心率、出汗率等生理反应指标，并注意补充水盐、防止过度疲劳，保证睡眠。

# 科学的进行膳食营养补充和液体补充

- \* 高温高湿环境下，运动员机体会表现出耗能大、产热多的特点，建议**高糖、中脂、低蛋白**的食谱。原因：糖的供能范围广，代谢终产物易于排出；脂肪的供能效率最高。另外，运动员应当补充足量的维生素和矿物质，以补充高温、高湿环境下丢失的此类营养元素。
- \* 中国营养学会建议环境温度**每增加1°C，应增加0.5%能量供给**。运动员在高温环境中运动需增加**10%**左右的能量摄入。

# 科学的进行膳食营养补充和液体补充

Montain等（如右图）比较了出汗量为20%、50%、80%三种水分补充后的效果，结果表明：**补充量越多、核心体温保持的越低**（越有利于延缓高温高湿环境下运动性疲劳的发生）。

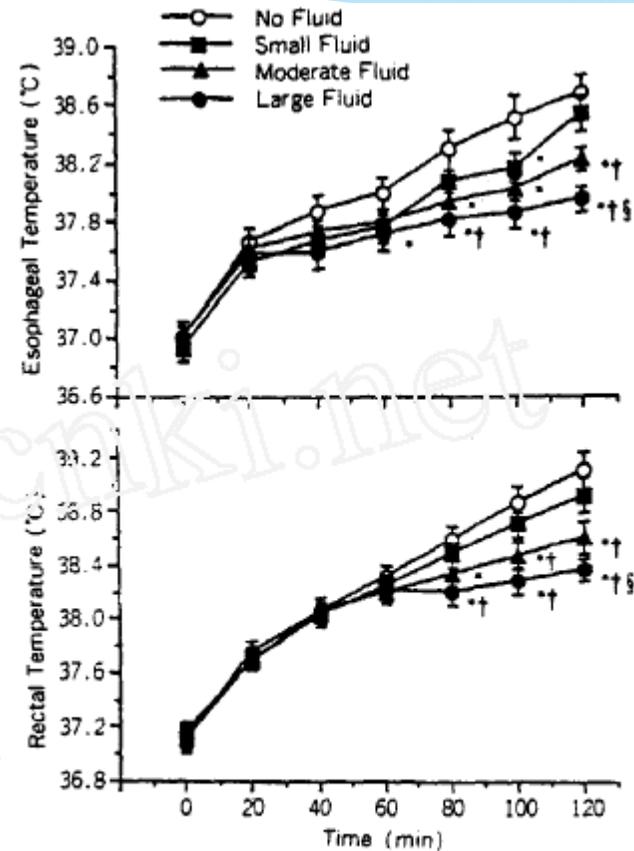


图3 水分摄入量不同,对运动中深部体温(直肠温,食管温度)的影响(Montain S. J. and E. F. Coyle, 1992)。

# 补水方法

- \* 运动前：运动前10-15分钟，饮水400-600ml；
- \* 运动中：运动时间每增加20-30分钟，饮水150-200ml；
- \* 运动后：每15-20分钟，饮水20-250ml。
- \* 一般运动总时间少于35分钟，不提倡运动中补水；
- \* 补液量：研究表明，要达到完全补回丢失的液体和电解质（尤其是Na<sup>+</sup>），补液量应为减少的体重的100-150%，相应地饮料Na<sup>+</sup>浓度以50-25mmol/L比较好。

# 饮品成分与温度

- \* 以水为主的含糖饮料，其中应含有电解质和维生素C，糖和电解质的含量不宜过高，一般在2·5%左右，运动后可适当进食碱性食物，如各种水果。
- \* 以5~14°C为宜，因为这种温度的水通过胃的时间最短。切忌饮用长时间冷冻的低温饮品。

# 合理的使用物理降温手段

- \* 目前，对于人体高温环境下降温手段主要有降温服（背心）、降温帽、降温饮料和冷水淋洒四个方面。



### 3、运动与高温热应激的防治方法探讨

物理式降温帽

电子式降温帽

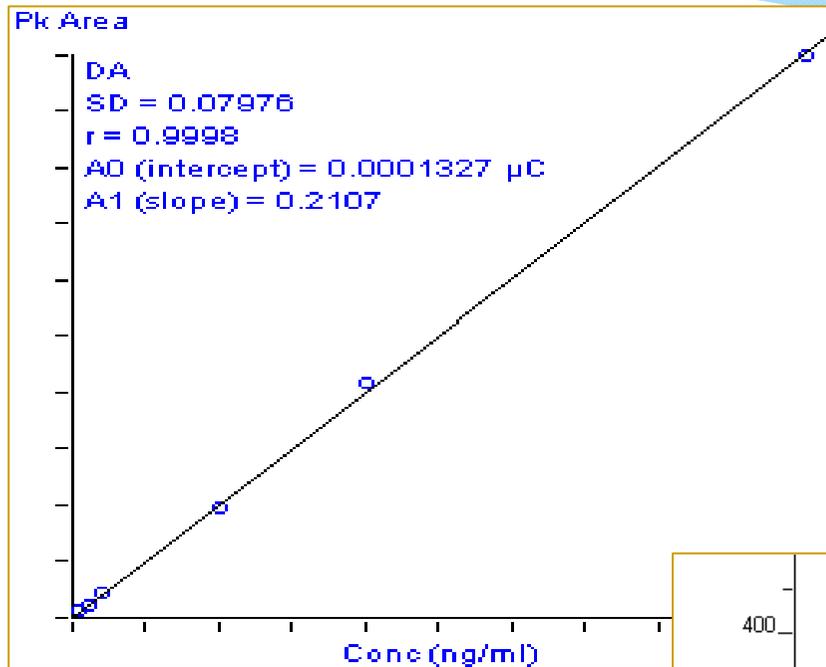


# 冷水淋洒的方法

- \* 冷却淋洒的部位主要有头部、颈部和大腿内侧，但效果可能以头部与颈部为佳。原因为：这两个部位对冷却刺激没有皮肤收缩作用。

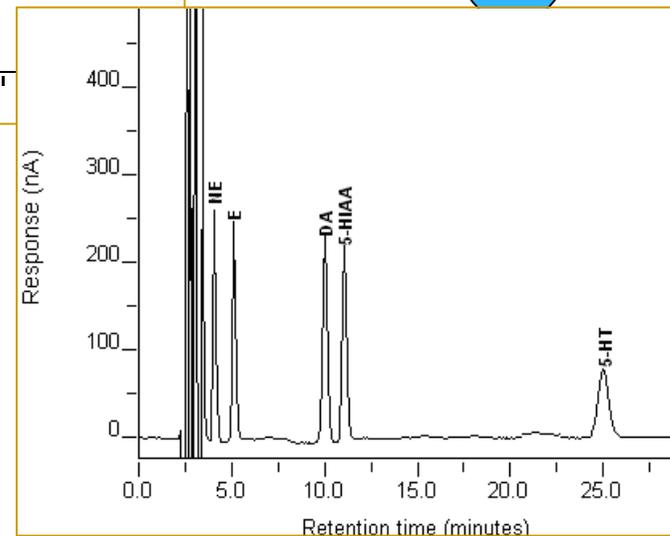


# 运动组单胺类神经递质变化

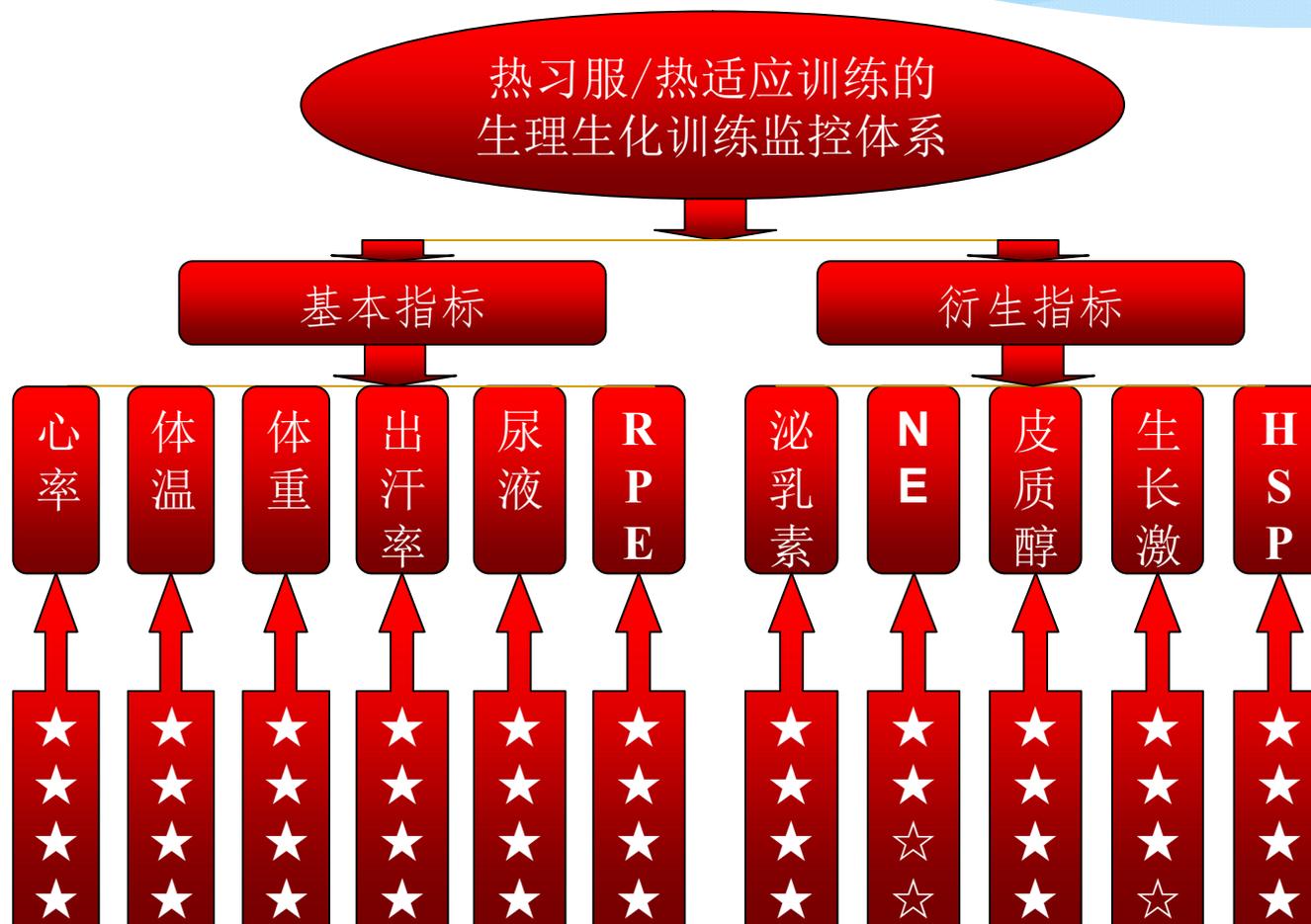


高效液  
相色谱  
法

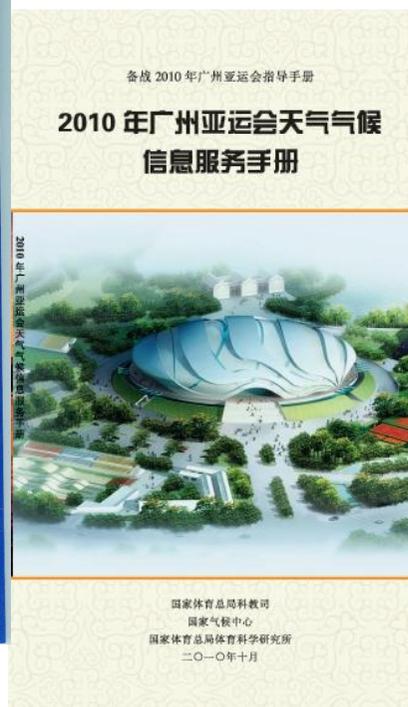
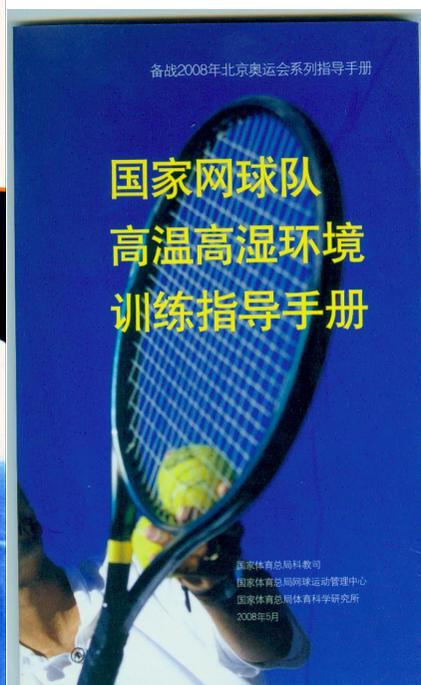
双因素重复测量方差分析显示湿度对肾上腺素、5-HT以及5-HIAA的表达具有显著性的影响；而运动对所有指标的表达都没有显著性的影响，但是两个因素则对5-HT有交互作用影响。



# 高温高湿环境下生理生化监控



- \* 多次为户外项目国家队进行高温环境与运动训练与比赛的研讨，并编写相关高温高湿环境与运动指导手册下发到户外项目国家队。



# 主要成果推广

1

2012年伦敦奥运会期间气候背景分析

2

伦敦奥运会与北京奥运会期间的气候特征对比分析

3

伦敦奥运训练备选城市气候角度建议

4

伦敦奥运会期间穿衣指数和舒适度指数分析

5

极端气候下训练和比赛的应对方法

6

极端大气污染环境对运动能力的影响及应对方法

广东亚运会气候科技服务

# 网球项目

- \* 1、如果比赛在高温高湿地区举行，运动员应该尽早的到达比赛地进行适应性训练，以达到热服习，有研究指出为了达到理想的热服习效果，时间不能少于一周!
- \* 2、应该摄入足够的液体成分，包括水分、果汁、运动饮料等。但是切忌避免摄入过多的纯水，以防出现水中毒现象!在平时的训练和比赛前的热身活动中（在热环境中进行热身时，一定要适当减少热身时间），要规律性的摄入一定的水分（如每次200ml左右）。在每次比赛的间歇运动员也应该饮用适当的液体。

- 
- \* 3、比赛后，运动员可以按丢失水分的150%进行补液（可以通过体重测算丢失的液体量），还应该立即进行相应的营养补充。
  - \* 4、在训练和比赛中易发生热痉挛的选手可以适当在饮食中补充额外的盐分，也可以在训练和比赛中饮用的运动饮料中添加适当的盐分！
  - \* 5、如果有条件的话，可以测量运动员的排汗率和电解质丢失速率，以便有针对性的进行补充。

- 
- \* 6、在热环境中进行运动时，由于机体对糖原的消耗增加，因此运动员一定要摄入足够的碳水化合物，而且碳水化合物可以帮助机体储存水分！
  - \* 7、足够的睡眠可以帮助提高运动员的耐热能力！
  - \* 8、非训练和练习时，尽量避免阳光的直射！在练习和训练中，穿着透汗装，太阳帽，使用防晒油！

# M F. Bergeron制定的网球运动中最常发生的热痉挛的相关应对措施

- \* 如果运动员发生了肌肉痉挛的早期症状，只要及时摄入足够的盐溶液就可以完全避免痉挛的蔓延和发展，例如在16-20盎司（1盎司=28.35g）的佳得乐饮料中加入3g的盐，然后进行补充。只要在比赛间隙补充饮用200ml左右的此类盐溶液就可以有效的缓解痉挛症状，预防痉挛的进一步发展！

# 马拉松

- \*提前10-14天进行类似比赛环境进行适应；
- \*营养膳食：  
蛋白质：脂肪：糖=1.5：1.5：7  
训练前补水适当加入食用甘油  
训练与比赛期间少量多次饮水
- \*训练与比赛前易损肤处涂凡士林

CONFERENCE PAPER

Sports Med 2007; 37 (4-5): 378-3  
0112-1642/07/0004-0378/\$44.95

© 2007 Adis Data Information BV. All rights reserved

## Heat Exhaustion and Dehydration as Causes of Marathon Collapse

Robert W. Kenefick and Michael N. Sawka

US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, Massachusetts, USA

### Abstract

This article reviews causes of marathon collapse related to physical exhaustion, heat exhaustion and dehydration. During severe exercise-heat stress (high skin and core temperatures), cardiac output can decrease below levels observed during exercise in temperate conditions. This reduced cardiac output and vasodilated skin and muscle can make it difficult to sustain blood pressure and perhaps cerebral blood flow. Dehydration can accentuate this cardiovascular strain. In contrast, excessive heat loss to the environment during cold weather may result in hypothermic collapse. Other factors contributing to post-race collapse might

# 竞走

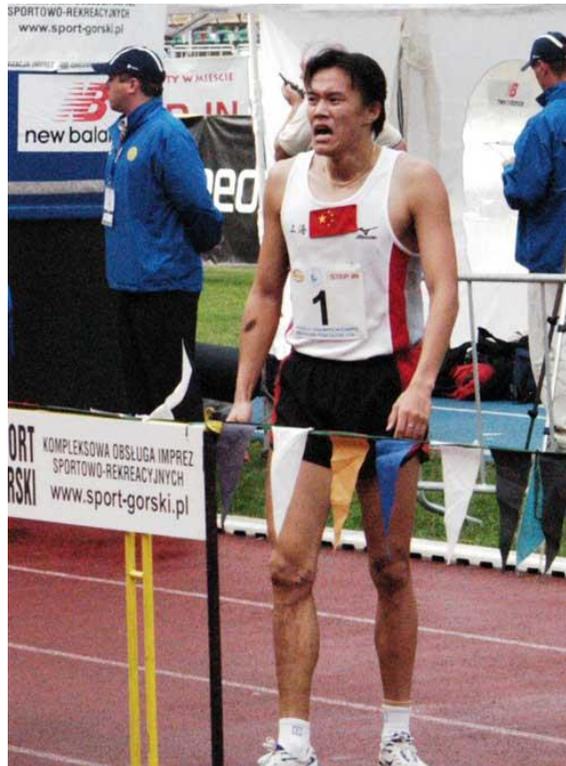
- \* 提前10-14天进行类似比赛环境进行适应；
- \* 心理调节：

2007年大阪世锦赛，50km名将虞朝鸿、赵成良没有表现出高原训练的水平



# 现代五项

- \* 越野3000m跑总时间少于35分钟，不提倡运动中补水；
- \* 之后适当补充碱性食物，补液5-14℃



# 曲棍球

- \* 大运动量前的数日增加膳食糖的比例，达70%，赛前1小时补液态糖
- \* 少量多次补液，每15min补液150-300ml

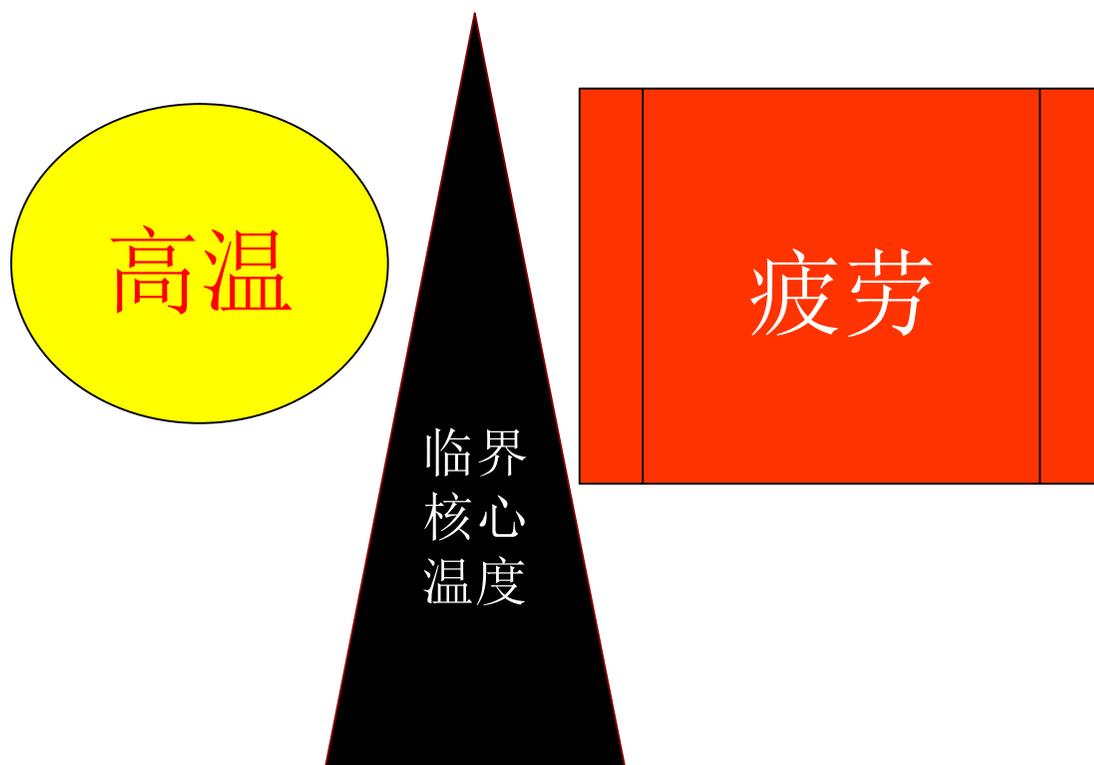


# 女足亚特兰大成功

- \* 比赛前100天，赴美适应性训练：高温高湿气候中模拟比赛形式的大运动量训练
- \* 回国赴济南寻找高温环境；
- \* 提前两周赴美国再次适应训练。



- \* 研究发现高温环境下人体运动存在着临界核心温度值，人体核心温度达到此值即会表现出疲劳的发生。



# 体温测定在体育科学领域的应用

- \* 人体体温可以划分为核心体温 ( core temperature ) 和外周体温 (shell temperature) 。
- \* 核心体温指人体身体内部的温度，其准确测试点肺主动脉弓的温度，有时泛指腹腔、喉腔或者颅腔等的温度。
- \* 外周体温指人体身体外周的温度，可以泛指皮肤、皮下脂肪组织和肌肉组织等的温度 ( 本文 ) 。

- \* 在运动过程时，人体产热可以增加10-20倍，但仅有最多**30%的热量**产生用于机体动作的完成，即人体代谢**70%以上热量**是散失到外部环境，而当机体热量散失机制发生抑制时则会导致体温的升高。
- \* 体育科学领域探讨体温测定应当**重点倾向**于核心体温测试。人体核心体温测试方法选择是以测试仪器的种类和测试的目的为基础，舌下（口腔）、腋下和鼓膜（耳）测试部位通常应用于医学临床，而**肛门、食道舌下（口腔）和胃肠道测试部位**通常应用于体育科学领域。



# 口腔温度

- \* 口腔温度方法是医学和体育领域使用最为普遍的核心体温测试方法，其测试结果低于肺主动脉弓黄金标准温度约 $0.4^{\circ}\text{C}$ 。
- \* 舌下是最容易获得口腔温度的部位，其与主动脉弓温度具有较高的相关性。
- \* 口腔温度测试时间需要近5分钟和运动过程此起的呼吸频率变化可以影响口腔温度结果。

# 腋下温度

- \* 腋下温度方法中国医学界使用最为普遍的核心体温测试方法。
- \* 若干研究指出腋下温度对于诊断发烧正确率仅有27.8-33%。环境温度、出汗、湿度和腋手浓密度等均直接影响腋下温度的准确性。
- \* 体育科学领域不适合应用腋下温度来评价人体运动过程的核心体温。



# 耳蜗温度

- \* 耳蜗温度方法是指机体耳部鼓膜的温度，其是无创式核心体温试方法中最为准确的。鼓膜是由颈动脉供血的器官，这与体温调节中枢下丘脑具有相同的供血来源。
- \* 耳蜗温度测试方法与黄金标准肺主动脉弓方法相比较，21.1%患者被延误诊断、37.8%患者被受到没有必要的治疗。
- \* 耳蜗温度的测试方法是应用红外温度计，其不能进行连续性温度的测定和记录，这也是体育科学领域不适合应用耳蜗温度来代表核心体温的重要原因。



# 腋下温度

- \* 腋下温度方法中国医学界使用最为普遍的核心体温测试方法。
- \* 若干研究指出腋下温度对于诊断发烧正确率仅有27.8-33%。环境温度、出汗、湿度和腋手浓密度等均直接影响腋下温度的准确性。
- \* 体育科学领域不适合应用腋下温度来评价人体运动过程的核心体温。

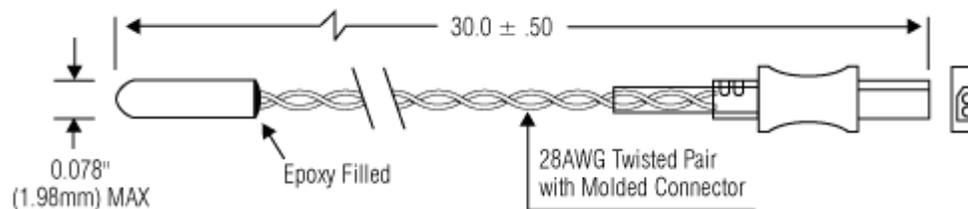
# 直肠温度

- \* 直肠温度方法是应用温度计医用探针或温度计直接测定肛门括约肌内部8 cm左右位置的体温，其具有计数稳定和受外部环境的影响小等特点。
- \* 目前，直肠温度是科学研究实验中应用最为广泛的方法之一。直肠温度测试方法容易给儿童造成恐惧心理和成人不舒服的现象，有时这种方法可以使实验研究中的受试对象或志愿者中止实验过程，特别是在含有运动的实验过程这种中止实验现象较为多见。
- \* 直肠温度测试方法还有一个缺点是易发生交叉感染，曾有研究指出直肠温度测试导致了新生儿沙门氏菌的爆发和流行。



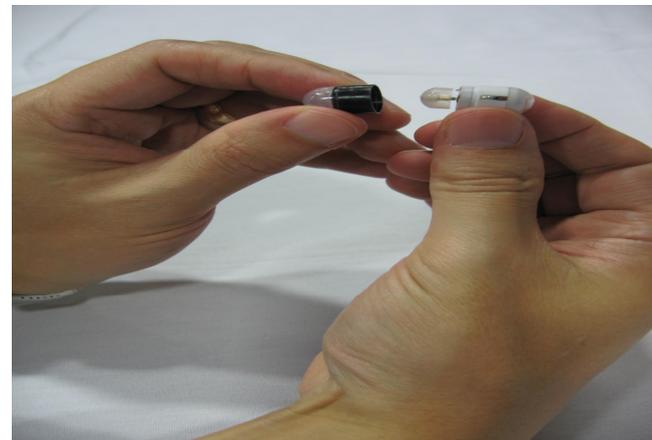
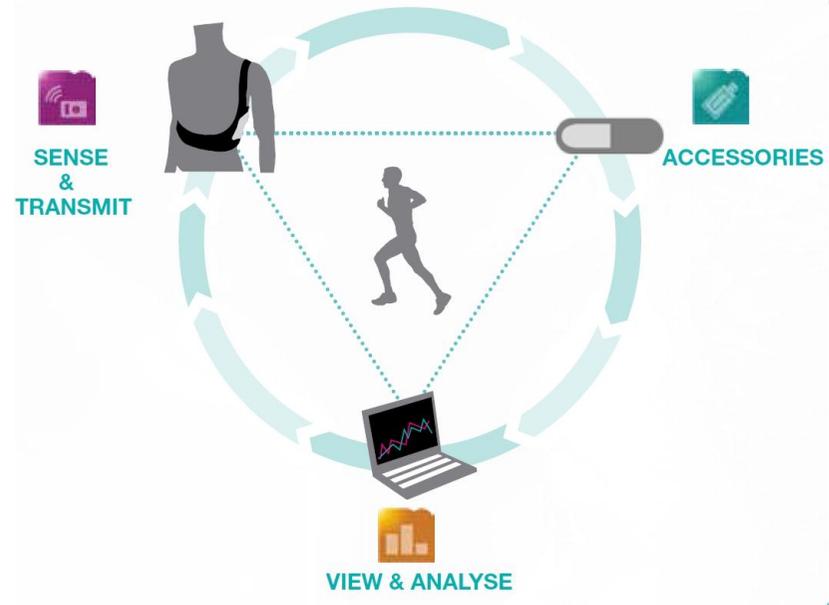
# 食道温度

- \* 食道温度方法是通过口腔或鼻腔放置温度计医用探针于食道，进而测定机体食道温度的核心体温的方法。
- \* 食道温度低于机体肺主动脉弓仅有 $0.1^{\circ}\text{C}$ （完全属于科学研究的可接受范围），但通过口腔和鼻腔向食道放置温度计探针操作技术性较强引起许多受试者难以接受此方法
- \* 目前，鉴于测试方法的技术性高、体育科学界应用食道温度测试方法相对较为罕见。



# 胶囊式胃肠道温度

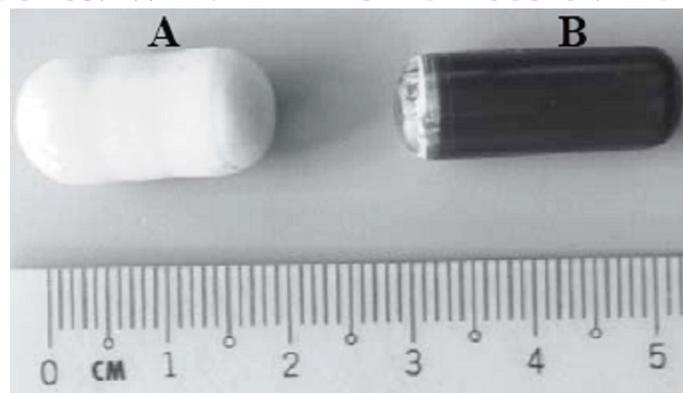
- \* 胶囊式胃肠道温度方法是应用胶囊装一次性无线传感器测试的机体胃肠道温度作为机体核心体温的方法。
- \* 传感器直接测试的胃肠道通过无线电频率将信息传输到无线接收器中，并以数字格式实时显示体温信息。
- \* 胶囊式胃肠道方法近10年左右才被开始应用于人体实验，并在科学研究领域得到迅速的开展，现已经在体育科学、航天医学、国防医学等领域得到逐渐推广与应用。



**优点：**一方面其可以避免食道温度和肛门温度的不适性，另一方面其可以实现运动实验全过程的温度实时监测。

**不足：**价格每粒胶囊传感器约几十美元对于科研经费相对充足的欧美发达国家也是一个大的经费负担。

**总之，**胶囊式胃肠道温度方法可以集受试者可接受性、数据准确性和可靠性于一体，对于科研经费比较充足的科研团队还是一个不错的选择。



## Heat acclimation improves exercise performance

Santiago Lorenzo,<sup>1</sup> John R. Halliwill,<sup>1</sup> Michael N. Sawka,<sup>2</sup> and Christopher T. Minson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Human Physiology, University of Oregon, Eugene, Oregon; and <sup>2</sup>Thermal and Mountain Medicine Division, US Army Research Institute of Environmental Medicine, Natick, Massachusetts

Submitted 6 May 2010; accepted in final form 18 August 2010

**Lorenzo S, Halliwill JR, Sawka MN, Minson CT.** Heat acclimation improves exercise performance. *J Appl Physiol* 109: 1140–1147, 2010. First published August 19, 2010; doi:10.1152/jappphysiol.00495.2010.—This study examined the impact of heat acclimation on improving exercise performance in cool and hot environments. Twelve trained cyclists performed tests of maximal aerobic power ( $\dot{V}O_{2\max}$ ), time-trial performance, and lactate threshold, in both cool [ $13^{\circ}\text{C}$ , 30% relative humidity (RH)] and hot ( $38^{\circ}\text{C}$ , 30% RH) environments before and after a 10-day heat acclimation ( $\sim 50\%$   $\dot{V}O_{2\max}$  in  $40^{\circ}\text{C}$ ) program. The hot and cool condition  $\dot{V}O_{2\max}$  and lactate threshold tests were both preceded by either warm ( $41^{\circ}\text{C}$ ) water or thermoneutral ( $34^{\circ}\text{C}$ ) water immersion to induce hyperthermia ( $0.8$ – $1.0^{\circ}\text{C}$ ) or sustain normothermia, respectively. Eight matched control subjects completed the same exercise tests in the same environments before and after 10 days of identical exercise in a cool ( $13^{\circ}\text{C}$ ) environment. Heat acclimation increased  $\dot{V}O_{2\max}$  by 5% in cool ( $66.8 \pm 2.1$  vs.  $70.2 \pm 2.3$   $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $P = 0.004$ ) and by 8% in hot ( $55.1 \pm 2.5$  vs.  $59.6 \pm 2.0$   $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ ,  $P = 0.007$ ) conditions. Heat acclimation improved time-trial performance by 6% in cool ( $879.8 \pm 48.5$  vs.  $934.7 \pm 50.9$  kJ,  $P = 0.005$ ) and by 8% in hot ( $718.7 \pm 42.3$  vs.  $776.2 \pm 50.9$  kJ,  $P = 0.014$ ) conditions. Heat acclimation increased power output at lactate threshold by 5% in cool ( $3.88 \pm 0.82$  vs.  $4.09 \pm 0.76$  W/kg,  $P = 0.002$ ) and by 5% in hot ( $3.45 \pm 0.80$  vs.  $3.60 \pm 0.79$  W/kg,  $P < 0.001$ ) conditions. Heat acclimation increased plasma volume ( $6.5 \pm 1.5\%$ ) and maximal cardiac output in cool and hot conditions ( $9.1 \pm 3.4\%$  and  $4.5 \pm 4.6\%$ , respectively). The control group had no changes in  $\dot{V}O_{2\max}$ , time-trial performance, lactate threshold, or any physiological parameters. These data demonstrate that heat acclimation improves aerobic exercise performance in temperate-cool conditions and provide the scientific basis for employing heat acclimation to augment physical training programs.

maximal oxygen uptake; time-trial performance; lactate threshold; plasma volume; cardiac output; hot environment; cool environment

effect” (24, 36). Heat acclimation is documented to induce numerous physiological adaptations that theoretically could improve aerobic exercise performance in cool-temperate conditions. These physiological adaptations from heat acclimation include reduced oxygen uptake at a given power output (32, 42), muscle glycogen sparing (7, 42), reduced blood lactate at a given power output (42), increased skeletal muscle force generation (21), plasma volume expansion (2, 38), improved myocardial efficiency (14), and increased ventricular compliance (16). Therefore, it is reasonable to postulate that heat acclimation, similarly to “live high-train low,” might improve exercise performance capabilities in temperate-cool conditions.

The purpose of this study was to determine the impact of heat acclimation on maximal aerobic power, time-trial performance, and lactate threshold, in a cool ( $13^{\circ}\text{C}$ ) environment. We hypothesized that heat acclimation would improve exercise performance capabilities in cool conditions and therefore provide a relatively convenient means to augment exercise capabilities in trained athletes.

### METHODS

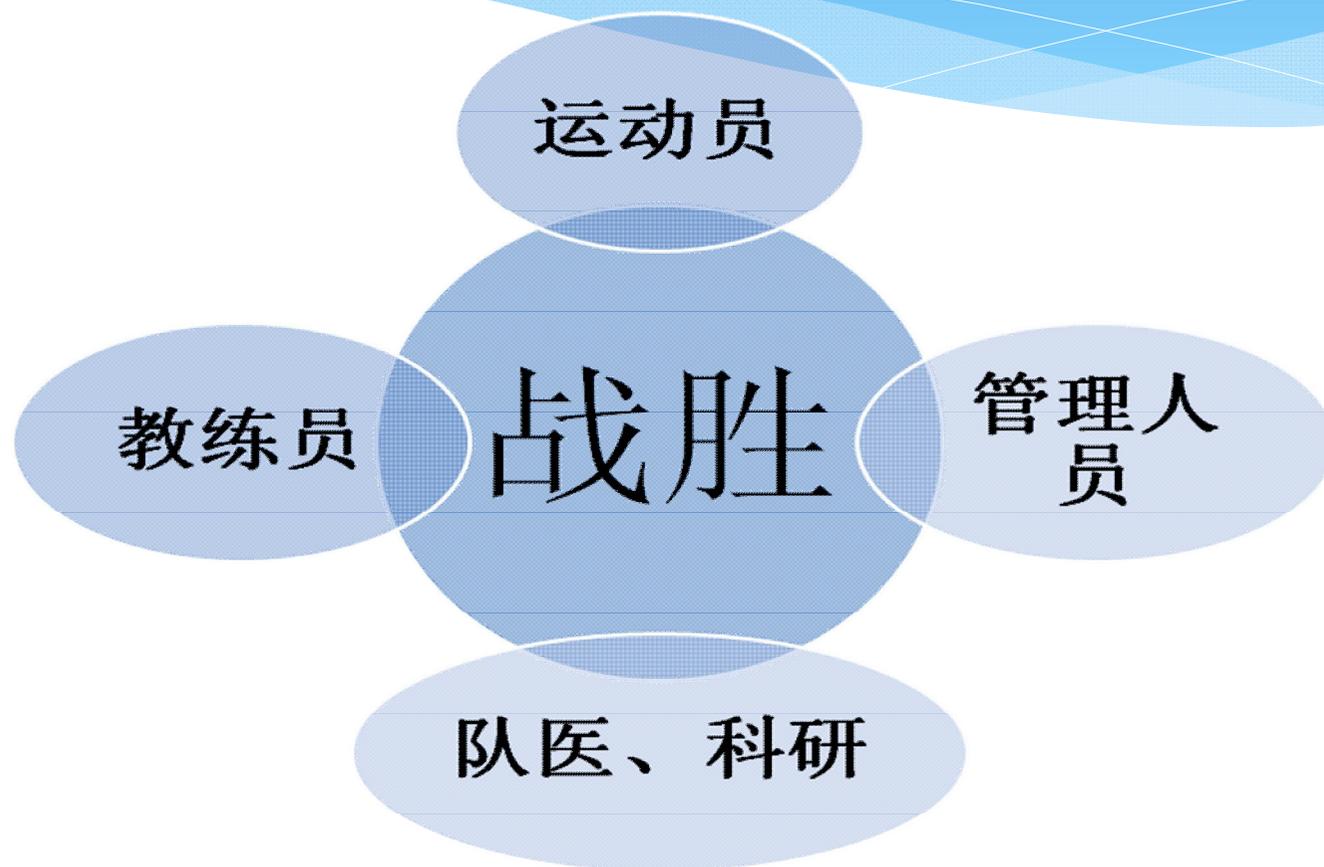
**Subjects.** Before participation, each volunteer gave written informed consent as set forth by the Declaration of Helsinki. All protocols were approved by the Institutional Review Board of the University of Oregon. Twelve highly trained endurance cyclists (10 men, 2 women), age  $24 \pm 6$  (SD) yr, completed the heat acclimation protocol (height  $175 \pm 6$  cm, weight  $67.7 \pm 8.1$  kg, body mass index  $22.1 \pm 3.9$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Eight subjects (7 men, 1 woman), age  $26 \pm 4$  yr, completed the control protocol (height  $174 \pm 6$  cm, weight  $70.2 \pm 4.1$  kg, body mass index  $23.1 \pm 3.1$   $\text{kg}/\text{m}^2$ ). Of these eight controls, four subjects completed the heat acclimation program after completing their control experiments. The heat acclimation group and control group were matched for maximal aerobic power ( $66.8$  and  $66.8$

- \* 热适应的具体方法为：40°C与30%相对湿度的高温环境内进行为期10天、50%最大摄氧量（ $\dot{V}O_{2\max}$ ）的有氧运动，每天运动包括两组45分钟、中间间歇10分钟的自行车练习。实验前后分别在凉爽环境（13°C、30%相对湿度）和高温环境（38°C、30%相对湿度）进行了最大摄氧量、60分钟运动试验能力及乳酸阈等指标测试。

这种热适应训练显著提高了研究对象在凉爽环境和高温环境内最大摄氧量（凉爽环境提高5%左右，从 $66.8 \pm 2.1$  ml/kg/min 提高到 $70.2 \pm 2.3$  ml/kg/min， $P=0.004$ ；高温环境提高8%左右，从 $55.1 \pm 2.5$  ml/kg/min 提高到 $59.6 \pm 2.0$  ml/kg/min， $P=0.007$ ），显著提高了两种环境内乳酸阈的输出能力（两种环境内均提高5%左右），显著提高了两种环境内血浆容量（提高 $6.5 \pm 1.5\%$ ， $P < 0.05$ ）。

由此证明，运动员在高温环境内热适应训练能提高其在高温与凉爽环境（如 $13^{\circ}\text{C}$ ）内有氧运动能力。另外，我们有理由假设高温环境内热适应训练和“高住低练”训练方法一样，其能够提高机体在常温和凉爽环境下的运动能力。

态度决定一切！





**Thank You For  
Your Attention!**

[zhaojiexiu@ciss.cn](mailto:zhaojiexiu@ciss.cn)