

1986年

全国

运动生理学学术会议



专题报告汇编

中国体育科学学会运动医学学会

一九八六年十一月 成都

90467
~~24267~~

前 言

一九八六年全国运动生理生化学术会议在成都体育学院胜利结束。会议除了报告和书面交流的195篇论文外，尚有我国运动生理生化学界知名的专家教授在大会上作了专题报告，所涉内容深受与会学者欢迎，现将专题报告汇编成册，以供学习参考。

本汇编共收入专题报告11篇，并按大会发言顺序进行编排。由于多数文章原稿略去参考文献，为统一规格，我们一并作了删节。此外，编辑组为尊重作者原意，除核实对证笔误外，余均尽可能保持原文风格。

编辑组成员有（以姓氏笔画为序）刘芳华、杨范昌、周碧、高兴。

第二届全国运动生理生化学术会议专题报告汇编编辑组

1986年11月

目 录

诱发肌电图及其在运动生理学中的应用.....	郭庆芳 (1)
周期性运动有氧项目的能量学分析.....	陈家琦 (5)
运动生物化学的动态.....	冯炜权 (10)
兴奋剂控制的发展趋势.....	杨天乐等 (16)
运动员为比赛减轻体重的医学问题.....	陈吉棣 (25)
邻国近年来有关大负荷运动后骨骼肌	
超微结构变化研究的回顾和展望.....	卢鼎厚 (28)
运动和胰岛激素.....	许豪文 (30)
运动心脏的若干特征及机理.....	邓树勋 (33)
第23届世界运动医学会运动生理和运	
动生化的学术动态.....	杨锡让等 (37)
大脑诱发电位——关联负变化 (CNV)	黄瑞馨等 (45)
氧的毒性.....	赵釜生 (55)

诱发肌电图及其在运动生理学中的应用

国家体委科研所 郭庆芳

今天我讲这个内容有两个原因:

一、肌电图技术是由临床诊断的需要而发展起来的。但是,由于各种无损伤诊断方法的出现(如超声波、CT、核磁共振等)使肌电图的诊断作用受到了影响,甚至怀疑肌电图的前途是否乐观。为此,在去年(1985)召开了有关临床肌电图的专家参加的讨论会。议论的结果是乐观的:肌电图有其特别的用途,它是肌膜电位的变化反映,而电位的变化有其广泛的用途。在运动生理(运动医学)劳动生理方面,肌电图又有其特殊的作用,它可同时反映出主动肌、对抗肌、协同肌的活动,以及这些肌肉活动的潜伏期,运动前后的静息期。尽管新的方法不断出现而肌电图技术在运动、劳动生理学中的作用是其他方法所无法代替的,肌电图技术在体育科学中有广阔的前途。

二、有关随意表面肌电图的新技术如功率谱分析等高强同志已有过综述,我就不再赘言了。

因此,我主观地选择了有关“诱发肌电图”这个问题,为了使大家更感兴趣,就又加上了“及其在运动生理学中的应用”这一内容。企图说明在运动生理学中不只是随意的肌电图,还有非随意的诱发肌电图(Evoked EMG)。

诱发肌电图可用电流直接刺激运动神经引起肌肉收缩(叫M波)也所扣击肌腱(腱反射)、刺激感觉神经(如H反射)反射性地引起肌肉收缩。

目前,诱发肌电图在运动生理学中至少有两个用途:一个是用于测定神经肌肉系统的机能状态;一个是用于研究人体疲劳的部位。

一、用于测定神经肌肉系统的机能状态

(一) 腱反射:

腱反射是一种快的牵张反射,它是由快速扣击肌腱而引起的肌肉收缩,此时除记录收缩的曲线外还可记录肌电图。

Kmoi (1982、1983、1984、1985)看到肌肉疲劳之后,腱反射增强,反射(诱发)肌电图增高,他认为这是肌梭灵敏性增高的结果,而长期力量训练之后,在安静的情况下,肌肉力量增加,反射性肌电图下降,他认为这是肌梭灵敏性下降之故。

今年(1986)Komi与其同事Gollhofer看到在先有牵拉而接着收缩的牵张——缩短型收缩的活动中,如果牵拉时相长,那么肌肉疲劳时,肌电/肌力之比上升而牵张——反射的

幅度下降。他们认为这是由于疲劳引起神经激活能力和钙释放能力改变之故，而钙下降引起横桥动力学的变化，从而使这一系统的缓冲作用（Cushioning）下降和使牵张——缩短式的收缩脱节（Push-off）。

（二）外周运动神经动作电位传导速度

外周运动神经传导速度，在临床诊断上是经常测定的。

当然，运动神经传导速度的问题是个经典的研究，但是，对运动员运动神经传导速度的测定还是个新的课题。

从五十年代起就有人对运动员与非运动员的运动神经传导速度进行了比较。这一工作近十几年来又有增多的趋势，如 Tastovka(1969)，Wyrick(1970)，Upton(1969)，Simp(1980)，Kamen(1984)及我国的陈宝庆等(1985)，姚士硕等(1986)对不同运动员的不同运动神经传导速度进行了测定。他们看到运动员的某一神经传导较快或某一运动项目的某一神经传导较快。有的在运动员与非运动员间未发现有何差异。Bicknell(1982)提到：

1. 体温不变的情况下，训练改变不了神经传导速度；
2. 训练不能防止老年人神经传导速度的下降；
3. 跑得快的运动员，神经传导速度并不快。

有关运动神经传导速度的研究大多是横向的，而日本学者宫田浩文（1985）进行了短期力量训练之后运动神经传导速度的变化，他是从纵的方面进行探讨的。他看到：短期力量训练之后肌肉力量增加、肌电图幅度增高，而神经传导速度不变。

（三）H反射

H反射是Hoffmann在1920年首次看到的，故称H反射。它是用电刺激感觉神经（Ia、Ib、II）其冲动经背根达到脊髓前角的运动神经细胞体，引起其兴奋，发放冲动使肌肉收缩。

H反射是一种慢的牵张反射，一般说是与肌梭的机能状态有关。我们知道在脊髓前角有大的（ α ）运动神经细胞，支配梭外肌纤维，同时也有小的（ γ ）运动细胞，支配梭内肌纤维。因此，H反射，一方面可以反映大的运动神经细胞的状态；一方面也可以反映包括小

（ γ ）运动神经细胞在内的 γ 环路的状态。用得最多的是以最大刺激使运动神经全部兴奋（最大M波）与最大刺激使感觉神经（Ia、II）全部兴奋（最大H波）之比。H（最大）/M（最大）表示反射性地被激活的运动单位的数量与总的运动单位的数量之比。

近年来，有人(Meinck, 1980, Enoka, 1980, Nelson, 1985)看到肌肉用力或疲劳后H波值下降，与之同时肌梭的向心冲动发放频率增加。

Ross（1974）报道了肌肉痉挛之后H反射的潜伏期延长。他认为某种原因使梭内肌纤维处于缩短状态，而改变了肌梭的感受部分的感受性，改变了Ia的向心冲动，从而提高了随意活动的兴奋性。因此，他提出不随意肌肉收缩的正反馈环的形成就是痉挛。

（四）腱反射与H反射的关系

腱反射与H反射都与肌梭有关，但腱反射是直接刺激肌梭而H反射刺激的是由肌梭发出的向心神经，实际上绕过了肌梭本身。两者反映同一过程，可能反映的形式不同。

Arcangel(1971)看到在振动刺激小腿三头肌之后，跟腱反射有明显地提高，而H反射则下降。他认为可到有两个原因：1、腱反射与H反射是经过不同的前角运动细胞；2、突

触前抑制。

Fujimori(1959)看到用肌肉松弛剂之后,单突触反射下降而肌梭放电频率增加。

Hutton(1973)在动物身上看到肌肉收缩可引起肌梭长时间的放电并对动力性牵拉敏感性提高。而Enoka(1980)在人体上看到肌肉收缩后H反射下降而腱反射上升。

看来,通过对腱反射和H反射的研究,可以对肌肉疲劳后的肌肉僵硬(或叫放松不全)的原因,在脊髓水平提供一些可能的线索。

(五) 诱发肌电图可能用于评定肌肉的活动潜能

保加利亚学者Kosev等(1984)提出了诱发肌电图(他叫刺激肌电图SEMG)可对运动单位准备状态(即潜在的工作能力)作出评定,而随意活动的积分肌电图(IEMG)则可对运动单位被动员的程度作出评定。

二、用于测定人体疲劳的部位

人体肌肉的随意活动是受神经系统支配的,其中有很多环节,哪一个环节出现了疲劳都会使肌电图发生变化。但是,就目前的研究来看,随意活动的肌电图还不能很好地反映所有部位的疲劳,特别是肌肉本身的疲劳。为此,需要与诱发肌电图相配来确定疲劳的部位。

(一) 用诱发肌电图区分中枢或外周疲劳

疲劳可发生在中枢叫中枢疲劳(Central fatigue)和外周叫外周疲劳(Peripheral fatigue)。

Bigland—Ritchie (1982)提出人体有8个环节可以产生疲劳,它们是:1、大脑皮层运动区,2、传向下级运动神经细胞的冲动,3、运动神经细胞的兴奋性,4、神经肌肉接头,5、肌膜的兴奋性,6、兴奋—收缩偶联,7、肌肉收缩成分,8、代谢能量供应。其中大脑皮层运动区,传向下级运动神经细胞的冲动,运动神经细胞的兴奋性属于中枢部位,其他5个环节则属于外周部位。而Asmussen (1979)认为中枢主要在大脑,而外周是运动单位。而运动单位就包括运动神经细胞、外周神经、运动终板、肌纤维本身等。

Waller (1891)和谢切诺夫(1903)巴甫洛夫(1920)Maosso (1915)为代表的早期研究者认为疲劳是中枢神经系统的过程。猪饲道夫(1961)观察到,肌肉疲劳时,受试者自己发出“喊叫声”时则肌肉力量会增加,这似乎证明了疲劳产生于大脑。

如何区别中枢疲劳和外周疲劳呢?如果肌肉工作到肌力下降,用电刺激该肌的运动神经其M波并不下降而肌力能得到恢复,那么,这种疲劳是中枢疲劳。这是因为中枢发放冲动的能力下降的原故;在此情况下如果M波下降,用电直接刺激肌肉,肌力得到恢复,那么,这种疲劳就是神经向肌肉传导冲动的阻断,是传导性疲劳;如果用电流直接刺激肌肉而肌力并不恢复,而M波不变,那么,这种疲劳就是肌肉的疲劳。

对肌肉疲劳作出重要工作的是Merton。他在1954年看到肌肉疲劳后,诱发的M波并不下降,当他把血流阻断后,疲劳很快出现,但M波也未下降,因此,他认为供血不足的情况下,M波不下降。此时的肌力下降是肌肉本身疲劳造成的。

但是继Merton之后,Naess (1955)提出了疑义,特别是Stephens等(1972)发现疲劳时肌肉力量与M波均下降,因此,提出疲劳发生于神经肌肉的传递部分,至少在60秒内的

疲劳是如此。有意思的是Bigland—Ritchie (1982) 用与Merton 同样的方法, 看到在肌肉力量下降的同时, 肌电图(表面肌电图与肌肉内记录的肌纤维电位)也下降, 可是诱发的肌电图(M波)并不减少, 甚至还有些提高。她认为随意活动肌电图在疲劳时下降, 而诱发肌电图并不下降的原因, 不是神经肌肉性传递的阻滞, 而是中枢疲劳, 或运动神经细胞放电频率下降所致。

Merton 并不放弃他肌肉疲劳的观点, 在1981年他作了一个很有意义的实验: 首先他用放在头皮上的电极给皮层运动区1400伏, 10微秒的刺激, 在相应的姆内收肌记录肌电图。他看到疲劳前后由皮层运动区诱发的肌电图在传导速度上无明显的差异, 而用2400伏(用0.25微法拉电容器放电)电压直接刺激肌肉, (这种高压高频电流, 可直接刺激肌肉本身而不是运动神经末梢)看到疲劳之后的肌电图下降了。因此, 他又一次认为这种疲劳不是大脑及其他传导环节(包括神经肌接头)的疲劳而是肌肉本身的疲劳。

(二) 外周的高频疲与低频疲劳:

自从 Davis (1932) 在猫的比目鱼肌上, 观察到肌肉的疲劳与刺激的频率有关之后, 不少作者对外周性的高频与低频疲劳进行了研究 (Edwards 1977, Bigland —Ritchie 1979)。

高频疲劳: 用80Hz的刺激作用于运动神经, 开始肌力增长很快, 但是, 很快就会出现疲劳(肌肉力量下降)。但是用20Hz的刺激, 肌肉力量增长的较慢, 但能持续较长的时间肌肉力量才下降。高频刺激出现疲劳较快故其M波的幅度也随之下降, 时限延长。如果用80Hz的刺激引起疲劳, M波, 随意肌电图, 肌肉力量均下降的时候, 突然将刺激频率下降到20Hz, 那么, 诱发的M波, 随意肌电图、肌肉力量又很快上升。由高频刺激转到低频刺激所引起的以上变化, 说明高频疲劳不是由于肌肉收缩能力下降, 也不是由于能量供应不足, 而是其他的原因。Bigland—Ritchie (1982) 认为高频疲劳是由神经肌肉间传导障碍造成的, 而Edwovrds (1982) 推想高频疲劳是由于肌膜兴奋性下降的结果, 此时, 肌纤维间隙钾离子积聚或钠离子耗竭 (Beganilla, 1972) 特别在横 (T)管系统细胞外液钾离子增加所致。其实, Jones (1979) 在离体肌肉上证实钠离子下降或钾离子增加都可造成与高频疲劳相同的结果。高频疲劳恢复时所需要的时间较短(约几分钟, Faulkner, 1984)。

低频疲劳: Edwards (1977) 认为低频疲劳不是由于ATP的耗竭, 因为肌肉在这种情况下能较长时间工作。其原因, 推想是由于兴奋——收缩偶联的机能下降或是由于某种程度地钙离子释放减少; 也可能像缺血的情况那样使横管的传递机能受到损害(具有高氧化能力的慢肌纤维能抵抗低频疲劳的现象, 支持这个解释)。低频疲劳的恢复需要几小时 (Edwovrds, 1982, Faulkner, 1984)。

肌肉疲劳的分类及表现 (依Edwards, 1982, 本文作者有修改)

中枢疲劳:

神经疲劳冲动(随意或诱发)发放障碍, 引起:

- 1、肌肉力量下降;
- 2、活动的运动单位数量减少;
- 3、运动单位放电频率下降。

外周疲劳:

肌肉力量下降

- 1、高频疲劳：①神经肌肉传导障碍；
②肌肉动作电位下降。
- 2、低频疲劳：①兴奋——收缩偶联机能障碍。
②线粒体功能障碍。

参考文献：（略）

周期性运动有氧项目的能量学分析

天津体育学院 陈家琦

关于肌肉活动的能量消耗早在运动生理学成为独立学科之前，随着军事和劳动卫生的需要有了众多的研究。1955年Passmore和Duenin曾有综述对二十世纪以来五十余年间有关人体各种活动能耗值的资料积累做了总结。该时以来 Jakotret 等及古泽、长岭、山岡等都对各项运动的能量代谢率，以及训练和竞赛等不同时期能量和营养素的需要进行了综合探讨，并形成了目前运动营养学的主体内容。在此期间，能量代谢的计算单位已把沿用已久的热量单位卡(Cal)统一用功量单位焦耳(J)来代替($1\text{ Cal}=4.184\text{ J}$)；能量代谢的绝对值也逐渐换用了以每公斤体重每分钟计算的卡或焦耳，并为了进一步消除个人差异还采用了运动代谢与基础代谢的比值(RMR)，或运动时代谢与安静时代谢的比值(MET)来表示运动的强度和量。当把基础代谢的1.2倍视为计算安静时代谢的标准时，两者即可以

$$\text{MET} = \frac{\text{RMR}}{1.2} + 1 \text{ 及}$$

$\text{RMR} = 1.2(\text{MET} - 1)$ 来互相换算。能量消耗的原始资料不断增多，便于查找的能量消耗表也不断完善，但尽管如此，仍不能概括人体肌肉活动的全面内容。这主要是由于对运动能量消耗规律性的研究还较少进展。

在这方面Passmore和Duenin(1955)曾综合了Atzler和Herbst等五项资料把步行的能量消耗归结为与速度的依从关系，在时速3~6.5公里范围内 $C=0.8v+0.5$ (c为每分钟千卡值，v为每小时公里值)。Sargent(1926)计算出快速跑在5.08米/秒~8.44米/秒范围内时，单位时间的能量消耗与跑速的3.8次方成比例。Margacra(1963)提出在有氧工作范围内每公斤体重每公里的能量消耗只与坡度有关而与速度无关，也即慢跑的机械效率不变，每单位距离的能量消耗约为每公里每公斤体重1千卡。山岡等(1956)也曾把跑速在5米/秒以上的跑的需氧量或能量消耗与速度的关系表述为 $y=a \cdot e^{bx}$ 并认为速度的系数b恒定于0.56~0.61之间。陈家琦等曾测得跑速1.5米/秒~7米/秒之间跑的需氧量与速度的关系为 $y=3.361e^{0.461x}$ ，5米/秒~7米/秒段 $y=0.57x^{3.854}$ 和 $y=1.061e^{0.561x}$ 。对游泳则有Karpovich等对四种游泳姿势的资料，并强调了速度与阻力因素的关系。Karpovich等对自行车运动能量消耗的研究更注意到空气阻力和摩擦阻力的双重影响。许多研究虽然都进行了

理论性探讨，但在一定程度上还是不充分和不系统的，不同研究者在理论上也有各自的局限性，尤其是从应用角度来看还不能说脱出了营养学分析的范畴。

对此，di Ptampéro 在最近的一篇综述中(1986)把运动的能量消耗与运动成绩及其影响因素联系起来做为统一的系统来讨论是颇有创意的，它为今后运动能量代谢的研究拓出了新的途径，这方面的研究成果有可能进一步发展到直接指导运动训练实践。

但目前还只能对陆上和水上周期性运动的有氧项目进行分析，这主要是由于1. 间接测热的经典方法虽经几度改进仍无根本性突破，在非周期性运动的复杂动作中实验装置容易形成干扰。2. 在无氧工作中由于相对安静状态能量消耗的基线难以确定，“氧债”的处理难赛较大，致使有关资料不足。3. 非周期性运动个体特异性较强，影响因素复杂，其共性较难表达。但从发展角度来看这些也都将随着研究方法的进步可以得到解决。

一、 一个新的出发点

把运动的能量学分析应用于揭示影响运动成绩提高的因素，借以提高和预测成绩，调整训练，这是研究运动能量代谢的一种新的出发点。十余年前Karpovich曾以最大摄氧量与运动时间的乘积加最大氧债做为一个运动员可利用的氧量，用这条沿时间轴的斜线与不同速度分段跑的实际需氧量相交，以相交点预测一英里跑的成绩，可以得到理想的最高值。但在实际应用中还有更多的限制因素需要考虑。

从最基本的原理出发， $\dot{E} = C \cdot v$ 是一个一般的关系式。这里 $\dot{E}$ 是单位时间的能量消耗($J \cdot s^{-1}$)，它被称为代谢功率(metabolic Power)， C 是单位距离的能量消耗($J \cdot m^{-1}$) v 则是速度($m \cdot s^{-1}$)。如将此式取最大值就变成了

$$V_{\max} = \frac{\dot{E}_{\max}}{C}$$

这里最大速度就是最高成绩，它依从于最大代氧功率与在此速度下单位距离所耗能量之比。对优秀运动员来说最大代谢功率 $\dot{E}_{\max}$ 是大致相同的，因此运动成绩的高低自然取决于 C 的高低， C 值越低，成绩越高。反之亦然。

在有氧条件下 $\dot{E}_{\max}$ 和 $\dot{V}O_{2\max}$ 相一致，而 $\dot{V}O_{2\max}$ 是可以在实验室中测得的。不过，强度达100%， $\dot{V}O_{2\max}$ 的跑难以超过25分钟，一旦超过此时间，如持续跑5~6小时， $\dot{V}O_{2\max}$ 的百分此将下降到60%(Lacour 和Flandrosis, 1977)。因此有氧工作的最大速度 $V_{\max}$ 只和最大摄氧量的一定百分比 $F\dot{V}O_{2\max}$ 相对应。即 $V_{\max} = F\dot{V}O_{2\max}C^{-1}$

换句话说，限制有氧运动成绩的因素，既有最大摄氧量 $\dot{V}O_{2\max}$ 及其利用率 F ，这是生理方面；也有单位距离能量消耗的节省程度，这是更偏重于技术方面的。如果掌握了一个运动员式中三项数值，将有助于制订适宜的训练计划。总的来说这只是一个概括的理论式，关键还是在于单位距离的能量消耗 C 是怎样决定的。

二、 影响单位距离能量消耗的因素

从走、跑、速滑、自行车等陆上项目来说，影响单位距离能量消耗 C 的因素最主要的是

空气阻力, 其它还有非气体动力学因素及环境条件、身体大小、运动姿势等。

(一) 空气阻力

人体在空气中无论进行何种运动, 空气阻力总与速度的平方成比例。即

$$R_a = kv^2$$

这里 k 为常数, 它决定于空气密度、阻力系数及正面投影面积。由于克服空气阻力可视为对此力做功, 因此必须考虑机械效率。每单位距离对抗空气阻力的能量消耗就应是

$$C_R = k'v^2$$

而 $k' = k\eta^{-1}$ η 即对空气阻力做功的机械效率, 如按 0.25 计算, k' 则为 k 的 4 倍。 E_R 是在空气中运动时单位时间对抗空气阻力的能量消耗, 依照前述它是单位距离对抗空气阻力的能量消耗 C_R 与地面速度 S 的乘积。在无风条件下 $S = V$, 由此便可导出

$$E_R = k'v^3$$

至于 k' 的值则依不同运动形式而异, 它的量纲为每平方米体表面积 $J \cdot S^2 \cdot m^{-3}$, 这样与 V^2 相乘即可得到 $J \cdot m^{-1}$ 。经计算, k' 的值在竞走中为 0.46, 在跑中为 0.40, 速滑为 0.44, 自行车赛车为 0.43。设体重 70 kg、身高 175 cm、体表面积为 $1.8 m^2$, 以 $6 m \cdot S^{-1}$ 的速度做耐力跑时, 对抗空气阻力所需能量 E_R 即为 $0.4 \times 1.8 \times 6^3 = 155.52 J \cdot S^{-1}$

(二) 非气体动力学的能量消耗

除空气阻力之外, 人体运动本身的能量消耗为非气体动力学因素。它用 C_{NA} 来表示, 并受下列因素的影响。

1. 位能和动能的变化——身体重心的升降和水平方向的加速与减速;
2. 摩擦力——鞋、车轮与地面之间, 或冰刀与冰面之间, 滑雪板与雪面之间;
3. 内功——非直接造成重心位置移动的功;
4. 保功姿势的肌肉收缩;
5. 呼吸肌与心肌活动的功。

C_{NA} 在各种周期性运动中都是速度的函数。在走速为 $1.0 \sim 1.4 m \cdot S^{-1}$ 时其 C_{NA} 可得最小值。而速度增到 $2 \sim 2.2 m \cdot S^{-1}$ 时, 被视为走和跑的交叉速度。高于此速时, C_{NA} 走大于

表一

陆上运动各项参数

(按体重 70 kg 身高 175 cm 计算)

	竞走	耐力跑	速滑	自行车
$k' \left(\frac{J \cdot S^2 \cdot m^{-3}}{m^2} \right)$	0.46	0.40	0.44	0.43
$C_{NA} (J \cdot m^{-1} \cdot kg^{-1})$	$1.43 + 0.91v$	3.86	1.00	0.17
$C (J \cdot m^{-1})$	$100 + 64v + 0.83v^2$	$270 + 0.72v^2$	$70 + 0.79v^2$	$13 + 0.77v^2$
C_x	1.10	1.10	0.65	0.75

跑；低于此速时跑大于走。各项陆上运动的C基本上都由 C_R 及 C_{NA} 组成，但在走和跑中 C_{NA} 所占比例最大，走占95%、跑占90%、速滑占64%，自行车赛车最小，只占1%。换句话说走和跑承受空气阻力的影响最小，而自行车赛车运动主要是对抗空气阻力，其成绩的提高必须在降低人和车的阻力上下功夫。

(三) 个体差异

在影响能量消耗的个体差异中，民族特点当然是显著的。但在有训练的运动员间，除自然步行外，在指定的速度下按体重平均的单位距离能量消耗，其标准差及变异系数均较小。而不同运动项目在不同体形大小间，以体重平均的代谢功率则似乎体形小者更具优势。年龄的影响是儿童的C大于成人，根据Mac Dougall 的资料(1983)这种特点将随年龄增长而减小并在十五六岁时接近成人，且不依速度的增长而加大。性别差异在以单位体重和距离计算时可以说已被消除。

表二 有训练运动员陆上运动能量消耗C的比较

(体重70kg 身高175cm)

	自然走	竞走	公路跑	速滑	自行车
C ($J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$)	2.3	4.8	3.7	2.1	1.2
SD ($J \cdot kg^{-1} \cdot m^{-1}$)	0.35	0.35	0.3	0.15	0.08
CV (%)	15	7	8	7	7
V ($m \cdot s^{-1}$)	1.25	3.25	36	10	9.6
n	21	5	36	5	7

表三 不同体形单位体重代谢功率 ($J \cdot s^{-1} \cdot kg^{-1}$) 的比较

(括弧内为 $mlO_2 \cdot kg^{-1}$ 甲: 50kg、150cm 乙: 100kg、200cm)

	速度 ($m \cdot s^{-1}$)	E 甲	E 乙	乙/甲
耐力跑	6	26.2 (75.1)	25.7 (73.9)	0.98
速滑	11	27.7 (79.5)	24.9 (71.5)	0.90
自行车	13	28.6 (82.1)	24.1 (69.1)	0.84

表四 儿童与成人跑的每公斤体重每米距离能量消耗比较

	7~9岁	10~12岁	13~14岁	15~16岁	成人
跑速 ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	9.3	10.2	11.4	12.3	
C ($\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}$)	5.05	4.66	4.27	4.08	3.9

三、水上运动

水上运动主要包括游泳和划船。

游泳的能量消耗依从于速度,以爬泳为例当速度达到 $0.9\text{m}\cdot\text{S}^{-1}$ 左右时技术较好的游泳运动员每平方米体表面积单位距离的能量消耗可达 $0.57\text{KJ}\cdot\text{m}^{-1}$ 或 $570\text{J}\cdot\text{m}^{-1}$,而技术差者则可达 $0.88\text{KJ}\cdot\text{m}^{-1}$ 。另外,优秀运动员又比有一般训练的运动员其C值更低40%。

比较不同游泳姿势的能量消耗则以爬泳为最低,其次为仰泳,最高则属海豚泳,蛙泳在速度低时接近爬泳,速度高时又接近海豚泳,但技术差的游泳者在蛙泳速度保持在 $0.3-0.5\text{m}\cdot\text{S}^{-1}$ 时却要比爬泳经济30%左右。

在性别上女子游泳运动员无论从身体组成和肢体比例来看都比男子更为节省能量。

当游泳速度不变时能量消耗的绝大部分是用以对抗水的阻力,并无需消耗能量于对抗重力或空气阻力,因此其外部功率输出可被看做是水的阻力D相对于水的速度V的乘积。

$$We = Dv$$

如把可能产生的内功略去不计,则游泳的总机械效率 η 即等于 $W_{\text{out}}/E^{-1} \cong Dv/E^{-1}$ 。

提高游泳的成绩取决于提高其机械效率,而求得机械效率的关键便在于测出D。根据测算,D与速度的1.2次方成比例,如式 $D = 58V^{1.2}$ 。这里D以牛顿N为单位,V以 $\text{m}\cdot\text{S}^{-1}$ 为单位。

游泳浮起时的全部阻力来自1.摩擦阻力,它依不同姿势及浸入水中的表面积而变。

2.表面阻力,它依身体形态的大小而变。3.波的形成。

划船的能量消耗在有舵手、双桨船、一名桨手的项目中,当速度大于 $3.7\text{m}\cdot\text{S}^{-1}$ 时 $C = 19V^2$ 。

四、最高成绩的能量学表达和予测

Wilkie (1980) 曾分析了自行车赛车的外部功率 (W_{max}) 和运动到力竭时间的关系, 并以下式表示:

$$W_{\text{e}}^{\text{max}} = At^{-1} + B - B_1(1 - e^{-t/\tau})t^{-1}$$

di Prampero (1981) 以此用于解释最大代谢功率和运动时间的关系, 此式即成为,

$$E_{\max} = E_{\text{an}} t^{-1} + \text{MAP} - \text{MAP} \tau (1 - e^{-t/\tau}) t^{-1}$$

在这里 E_{an} 为无氧能源所能供应的能量; t 为运动到力竭的时间; MAP 为最大有氧功率, 它相当于 $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$; 第三项反映运动开始阶段即进入工作状态时的能量消耗, 其中 τ 为这一状态所需时间常数, 根据 Wilkie 一般为 10 秒。由于 E_{an} , MAP 都可经实验测得, 根据每一优秀运动员的情况 $E_{\max}$ 是接近的, 因此如能提供单位距离能量消耗 C , 即可通过 $V_{\max} = E_{\max} \cdot C^{-1}$ 将提高运动成绩表达如

$$V_{\max} = C^{-1} [E_{\text{an}} t^{-1} + \text{MAP} - \text{MAP} \tau (1 - e^{-t/\tau}) t^{-1}]$$

di Prampero 以此计算值与实际世界纪录相比, 在十五个项目中除 400 米跑和滑冰、游泳各项误差在 +12.3% 到 -12.8% 外, 800 米、1 公里、1.5 公里、5 公里和 10 公里跑的误差都在 +1.9% 到 -1.4% 之间, 1 公里跑的误差只有 +0.2%。

当然, 测算方法还有待进一步完善, 但至少能够指出运动能量代谢的研究已步入一个新的理论性阶段, 它将在运动和训练的实践中发挥更大的作用。

参考文献: (略)

运 动 生 物 化 学 的 动 态

北京体育学院 冯炜权

体育是一门新兴的科学。随着体育从自然发展阶段、新技术阶段和大运动量阶段, 到多学科综合的科学体育阶段。运动训练要科学化, 才能适应在高水平上竞赛的需要; 群众体育也要科学地进行体育锻炼, 才能有效地达到增强体质, 提高健康水平的目的。因此, 未来的体育发展, 将是属于科学的, 依靠科学的。从体育科学技术发展过程来看, 体育科学技术是自然科学的一个分支, 也是社会科学的一个部分。现代科学技术在体育科学技术中的渗透和应用, 以及体育科学技术的发展, 现已经建立四十多门学科, 运动生物化学是在这种形势下发展起来的一门新学科。

一、运动生物化学的任务

从分子水平上阐明人体在运动时的变化规律, 是当前体育科学技术发展的要求之一。运动生物化学是从分子水平上研究运动员的一门新学科, 它的任务是: 研究运动对机体化学组成的影响; 运动时物质代谢、能量代谢的特点和规律; 掌握它与增强体质, 提高运动能力的关系, 为体育实践服务。

(一)、运动对机体化学组成的影响

人体的化学组成是相对稳定的,在运动的影响下,可以发生相适应的变化。这种相适应的变化是增强体质,提高运动能力的基础之一。

人体的各组织器官,它的化学组成主要为蛋白质、核酸、脂类、糖、无机盐、水等。这些物质在运动影响下,会发生相适应的变化,如经常进行耐力训练的人,肌红蛋白会增加;肥胖的人经常进行体育锻炼,体内脂肪会减少;跑得快的动物肌肉中磷酸肌酸比跑得慢的动物多,这都是运动引起体内化学组成适应性变化的表现。

酶是蛋白质,它能催化体内各种化学反应,在运动影响下,细胞内酶的数量会增加,由运动诱导酶生成而使酶活性增加,以适应运动时物质代谢加剧的需要。长时间耐力训练可以提高有氧代谢酶活性,如琥珀酸脱氢酶、细胞色素氧化酶等;速度和力量训练可提高无氧代谢酶活性,如肌酸激酶、磷酸果糖激酶等。

(二)、运动时物质代谢、能量代谢的特点和规律

我们每天食入的蛋白质、糖、脂类、水、无机盐、维生素等,在体内进行物质代谢的同时,必然伴随着能量的转变,人体在1~2分钟激烈运动时,肌肉中能量需求比安静时增加约120倍,因此,释放能量的分解代谢占主要的地位。为了满足运动时的能量需求,使得某些代谢过程(如糖酵解),在某些激烈运动中就显得十分重要,甚至占支配地位,如200米跑,95%左右能量来自无氧代谢,不同项目、不同强度运动,对身体有氧代谢和无氧代谢要求不同,因此,掌握运动时的物质代谢和能量代谢特点,对了解体育对人体的影响,促进健康、提高训练效果十分重要。目前已经阐明,运动时的物质代谢和能量代谢可概括为三个供能系统组成的一个体系,即1、磷酸原系统;2、糖酵解系统;3、有氧氧化系统。不同运动项目、不同强度运动时,不同能量系统占不同的比例。了解各能量系统的贮备,代谢、恢复等特点和规律、针对性地进行科学训练,发展专项运动所要求的物质代谢和能量代谢,才能以最快的速度、最有效地提高运动能力,促进健康,创造优异的运动成绩。

(三)、增强体质、提高运动能力的生化基础

体质,是指人体的质量。运动能力在生物学上指的是运动员体质、技能、智力和心理因素等的综合。可见,增强体质和提高运动能力都和运动生物化学研究的内容密切相关。了解和掌握运动生物化学的知识的目的在于为增强体质,提高运动能力服务,这是体育科学必须面向体育实践的要求,也是我们学习和掌握运动生物化学知识的唯一目的。

二、运动生物化学的发展

运动生物化学的研究历史

各国体育科学和科技发展的不平衡,开展运动生物化学的研究历史也不相同,只从本国或某些国家的研究历史出发讨论运动生物化学的发展,就会得出不同的意见,如E. Asmuss

en (丹麦, 1971)、J. Kuel 等 (西德, 1971) H. H. 雅可夫列夫 (苏联, 1975)、A. Brooks (美国, 1984) 等都对运动生物化学的研究历史发表过自己的看法, 这里, 概括一下他们的材料, 提出我们的意见。

(一)、运动生物化学的萌芽阶段:

运动生物化学是体育科学和生物化学发展的必然产物, 从廿世纪二十年代, 生物化学进入了一个蓬蓬勃勃发展的阶段, 对乙醇发酵、肌肉收缩、生物氧化等研究取得了进展, 为认识运动时体内的物质代谢和能量代谢提供了基础。因此, E. Asmussen 认为这时期中的 Meyerhof、Lohmann 等对肌肉收缩蛋白质、肌肉中高能磷酸化合物、肌糖原分解和乳酸的生成等研究, 是运动时肌肉中物质代谢研究的重要开端。与此同时, 德国的 Sneyper 等对运动后血、尿、汗某些研究; 1927年 G. Embden 等发现运动能提高骨骼肌糖原和磷酸肌酸的含量, 这些研究成果说明了训练和体育锻炼对身体的好处。可见, 这时期运动生物化学的研究处于萌芽的阶段。

(二)、运动生物化学的发展:

第二次世界大战以后, 特别从五十年代开始, 生物化学的发展突飞猛进, 建立了许多先进的技术和方法, 如同位素示踪法、电泳法、层析法、超速离心法等, 在生物化学研究中的成果: 高能磷酸键的作用, ATP 是肌肉的供能者和接受者, 糖酵解, 三羧循环, 呼吸链等过程基本已阐明, 大大地加深了对运动时体内物质代谢和能量代谢的了解。在这一时期中

(40~60年代), 苏联 H. H. 雅可夫列夫等用比较生物化学的方法, 分析了不同运动能力的动物或组织器官化学组成的特点和运动训练对身体化学组成的影响, 并以动物模拟不同类型的运动, 如耐力训练 (小白鼠游泳)、力量训练 (小白鼠爬杆)、速度训练 (小白鼠跑车轮) 等, 测定动物在运动训练的影响下血液和各组织器官中的各种生化变化, 用血糖、血乳酸等研究运动员身体素质、机能等, 与此同时, 美国的 Rowell; 西德的 Kuel, Dooll; 瑞典的 Pernow 等人采用动静脉导管引流的方法取血, 研究了人体在运动时糖、脂肪、蛋白质代谢的特点。H. H. 雅可夫列夫 根据当时的研究结果认为, 身体的变化是一个适应的过程, 这种适应可分为三个类型: 1、肌肉运动性肥大, 最大的变化是肌肉蛋白质数量增加; 2, 有氧代谢能力提高, 最大的变化是肌肉呼吸变化和氧化磷酸化; 3、无氧代谢能力提高? 明显地提高肌酸激酶和 ATP 通过糖酵解再合成的能力。在这三种类型中, 还存在不同的过渡形式。1950年苏联的 gMноΔeckag 根据他对肌糖原在电刺激肌肉时的消耗和恢复的特点, 提出了“超量恢复”的理论, 其后, H. H. 雅可夫列夫等对超量恢复的过程、特点和规律进行了较为系统的研究。这时期运动生物化学的研究, H. H. 雅可夫列夫 认为: “在体育活动中能够用生物化学理论来解释力量、速度和耐力等问题, 为寻找发展专门能力的方法和制定训练计划的理论基础提供了依据”。尤其超量恢复的理论对这个时期的大运动量训练提供了理论依据, 运动生物化学在运动实践中的应用, 不但表示了运动生物化学的大发展, 也标志着运动生化日趋成熟为一门新学科。

(三)、运动生物化学的诞生:

1955年苏联 H. H. 雅可夫列夫 编写了《运动生物化学概论》一书, 是运动生物化学的第一本专著, 说明了当时运动生物化学研究成果已具基本规模。1962年 J. Bergstrom 将肌肉活检法改进和引进到运动生物化学的研究中, 从过去对动物和从血、尿、汗成

分变化间接了解物质代谢, 转变为直接对人体肌肉、肝等取样分析, 以阐明在运动时肌肉、肝脏等的代谢变化。J. Bergstrom, E. Hultman, B. Saltin, J. Holloszy 等欧美生物化学家应用这个方法对生物和运动员进行了大量的研究, 使肌纤维生化、组织化学研究有了很大的突破, 运动生物化学有了飞跃的发展。所以, 美国 G. A. Brooks 认为 J. Holloszy 的“运动对骨骼肌线粒体的吸氧量和呼吸酶的生化适应”研究成果, “开创了运动生物化学这个新的研究领域”。这个评价可能过高, 但说明这个时期的运动生物化学研究在国际上已经很活跃, 它所取得的成果为运动实践所应用, 使间歇训练, 重复训练方法得以推广。为运动后机能恢复, 提高运动能力, 合理安排运动员营养等方法提供了理论基础。加速了运动训练和体育锻炼的科学化, 推动了体育科学的发展。因此, 在1968年国际运动和体育联合会 (ISPE), (现改名为国际体育科学和体育联合会, 简称为 ICSSPE) 倡议下, 在比利时布鲁塞尔召开了第一届国际运动生物化学会议, 在这次会议上成立了“运动生物化学研究组织” (Research Group on Biochemistry of Exercise), 隶属于 ISPE, 运动生物化学研究组织主席是比利时的 J. Poortmans。1985年后我国的陈吉棣教授应邀成为国际运动生化研究组织成员。至1985年共举行了六届国际性会议和四次有关的专题讨论会 (见表 1、2)。

表 1: 第 1~6 届国际运动生物化学会议

届次	时间	地点	中心议题
1	1968	比利时	短时间激烈运动时身体变化
2	1973	瑞士	长时间运动时物质代谢适应
3	1976	加拿大	运动时物质代谢调节
4	1979	比利时	运动时激素对代谢调节
5	1982	美国	运动性疲劳
6	1985	丹麦	运动时代谢调节与临床实践

表 2: 有关运动生化的四次专题讨论会

时间	地点	中心议题
1970	瑞典	运动时肌肉中物质代谢
1971	西德	限制身体运动能力因素
1979	意大利	运动和训练的生理化学
1982	法国	训练和停训的生理化学
1986	希腊	训练的生理生化讲习班

这些次会议都出版了专门的论文集（注：第6届国际运动生化会议论文集正在编印中）。苏联、欧美、我国先后出版了有关运动生化的专著或教材，专著有H、H 雅可夫列夫的《运动生物化学概论》（1955）、《运动生物化学》（1974）、R、J、Shephard的《运动生理学和生物化学》（1982）等。教材有H、H 雅可夫列夫等的《运动生物化学》（1974）；R、J、Shephard的《体育活动的生物化学》（1984）；我国冯伟权、宋成忠的《运动生物化学》（1983），冯伟权、冯美云的《运动训练的生物化学》（1985）。运动生物化学在六十年代有了自己的组织、研究和教学队伍，定期的学术会议，专著和教材等。因此，我们可以认为运动生物化学在本世纪六十年代成熟为一门独立的学科，使在70~80年代出现了一个蓬勃发展的局面。

总括以上的材料，我们认为运动生化的研究开始于本世纪的廿年代，在40~50年代有较大的发展，在60年代诞生为一门独立的新学科。

我国运动生物化学的研究和教学工作始于50年代，运动生化工作者深入运动实际，做了大量的工作，用尿蛋白、尿酸、血红蛋白、血清肌酸激酶、血尿素等对运动员在大运动量训练的身体机能进行评定；应用血乳酸、血糖等对某些运动项目的生化特点和训练方法、运动强度的掌握提出了科学的论据；在研究方法也作出了某些改进，如血乳酸。从50年代至今约提出论文200余篇，在体育科学中做了一定的工作，1979年成立中国体育科学学会和运动医学学会后，在四次有关学术性会议中，都有运动生化的专题。目前，在运动医学学会下设立了“运动生化和营养”学组，以推动运动生化学术活动的开展。

三、运动生物化学的主要研究成果

概括当前的主要研究成果，主要表现为以下几个方面：

（一）、运动时供能物质及其代谢特点。这是第一、二、三届国际运动生物化学会议讨论的主要内容，肌肉中ATP、CP在运动时供能输出的功率最大，但其在肌肉中贮量少，故只能在短时间内表现出高速度和强大的爆发力，但不能持久。较长时间激烈运动依靠肌糖原酵解为乳酸供能，它输出功率较ATP和CP少，但可维持1~2分钟左右的快跑或其它运动。长时间运动则依靠肌肉和组织器官中的糖、脂肪、蛋白质的有氧代谢供能和它们之间的代谢协调性。根据运动时能源物质和其功能代谢特点，提出的运动时由磷酸原、糖酵解、有氧氧化三个供能系统组成的体系，说明了各运动项目的供能特点，也为发展这一能量系统提供了理论基础。肌糖原贮备量和运动员速度耐力有关，当肌糖原几乎耗尽时速度耐力便下降，跑马拉松时，在跑完全程时恰耗尽肌糖原贮备则会表现出好成绩。因此，欧美有人采用饮食和训练相结合的方法，在赛前使肌糖原增加2~3倍（糖原填充法），以提高长时间运动的速度耐力，创造好成绩。脂肪是长时间运动用之不竭的能源，但它动用时脂肪需先分解为甘油和脂肪酸，脂肪酸由血浆中白蛋白结合而运输，因此，受白蛋白数量和与白蛋白的结合量的影响。目前研究发现，脂肪酸和白蛋白结合量虽只能较安静多3倍左右，过多则会对机体有损害，这就限制了脂肪的动用。如何提高体脂在运动时在肌细胞的氧化利用是当前的重要研究课题。蛋白质在体内不是供能物质，但运动时也参与供能，葡萄糖——丙氨酸循环是近十多年来研究运动时蛋白质供能代谢中的重要课题，运动时，特别在长时间运动时，蛋白质也