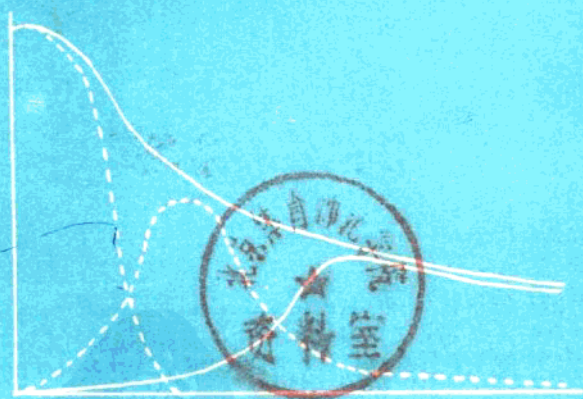


# 运动生物化学 在体育实践中的应用

冯炜权 林建棣 林文弢 编



中国人民解放军体育学院

46191  
22562

# 代序

我国已开始全面登上世界体育舞台，踏上了建设体育强国的新里程。为了更快地实现体育腾飞，攀登世界体育高峰，必须在抓好全面改革的同时，积极发展体育科研、教育事业，加强科学训练，才能如愿以偿。运动生物化学是体育科学领域中发展比较快的一门重要基础学科，它的基本任务在于研究与论证体育运动训练对人体产生生化适应的本质、规律和特点，为发展体育运动，增强人民体质，提高运动技术水平服务。当今世界一些体育强国都非常重视运动生化的研究与应用，并且取得了重大成果，值得我们学习借鉴。我国在运用运动生化指导运动训练和体育教学方面，也取得了可喜的成绩，值得我们总结、提高。我们出版《运动生物化学在体育实践中的应用》这本书，这就是为了传播、交流体育科研的情报信息，为促进我国体育的科学化贡献一份力量。

本书是由我国运动生化的著名专家、北京体院冯炜权副教授牵头、军体院林建棣、广州体院林文弢协同编出的，它是军民合作，新老结合的产物。书中编入了冯炜权副教授近年来在运动生化理论与应用研究方面的专论和翻译的苏联、西欧一些国家运动生化研究的有关文章，同时选编了本院林建棣等同志开展军事实用体育项目生化研究的部分成果和广州体院林文弢老师编写的运动员生化选材的一些文章。还有在军体院进修的我军优秀运动员、教练员和体育教官的部分学习研讨文章，他们运用学到的运动生化理论，对运动实践中的某些生化机理问题进行了科学的分析和探讨，很有参考价值。阅读本书，有助于掌

握信息,了解国内外运动生化研究的动态和成果;有助于开阔思路,促进运动生化的理论研究;有助于训练改革,普及运动生化在体育实践中的应用。因此,本书可作为体育院、系(科)运动生化和相邻学科的教学参考,也可为运动员选材和运动训练提供借鉴。特别是本书中介绍的几篇关于军事实用体育项目的生理生化变化的探讨文章,在我军体育训练研究上还是开篇之作,对军队体育训练以至军事技术、战术训练也有一定启示。所以本书的编辑出版是一个有益的尝试,是值得赞扬的。

诚然,运动生化尚是体育学科中的一门年青的学科,如何广泛应用于体育实践,如何从理论与实践的结合上解决科学选材、科学训练和军队体育诸问题,还有待于体育战线及毗邻学科的有志之士和我军体育工作者的共同努力。

雷凤石

1986.12.20.

# 目 录

代序	雷凤石
<b>运动训练篇</b>	( 1 )
1、运动生物化学在体育实践中的作用	( 2 )
2、运动性蛋白尿机理及其在运动实践中的应用	( 25 )
3、苏联运动生物化学的今昔	( 44 )
4、人体运动时肌肉的物质代谢(历史沿革)	( 65 )
5、在完成不同节律不同时间工作后休息期肌糖原含量的超量恢复	( 70 )
6、运动时能量储备和供应	( 75 )
7、运动的物质代谢基础	( 91 )
8、运动后血乳酸含量与尿液酸碱度相关关系的初探	( 101 )
9、广州体院体育系中跑队速度耐力训练的生化评定	( 110 )
<b>军事实用体育项目篇</b>	( 126 )
10、500米障碍跑的某些生理生化指标初探	( 127 )
11、军事五项运动的某些生理生化变化	( 139 )
12、定向越野对机体的某些生理生化影响	( 152 )
<b>运动员选材篇</b>	( 167 )
13、骨骼肌纤维类型与运动员选材	( 169 )
14、磷酸肌酸及其在运动员选材中的应用	( 178 )
15、血红蛋白与运动员科学选材	( 190 )
16、血乳酸与运动员科学选材	( 201 )
<b>学习探讨篇</b>	( 211 )
17、浅析高原训练的某些机能变化及其对运动能力的影响	( 212 )

18、	浅谈排球运动员快速应变能力的提高·····	( 218 )
19、	越野滑雪训练中有氧代谢与无氧代谢的初析·····	( 223 )
20、	试论兰球运动中疲劳的产生与消除·····	( 229 )
21、	浅析摩托车越野运动产生疲劳的类型·····	( 237 )
22、	500米皮艇的训练应当注重无氧代谢·····	( 242 )
23、	浅谈跳伞员的运动机能与训练·····	( 246 )
24、	从运动生化角度谈兰球运动的有氧和无氧 代谢能力·····	( 249 )
25、	磷酸原系统在排球运动中的作用·····	( 257 )
26、	足球运动的供能与体力·····	( 262 )
27、	谈间歇快速30—60米单足跳与速度的关系·····	( 267 )
28、	脂肪——长距离越野滑雪不可忽视的能源·····	( 270 )
29、	从短时间运动性疲劳谈体育课教学计划的安排··	( 276 )
30、	学习运动生化的一些体会·····	( 279 )
31、	游泳运动员在训练和比赛时尿蛋白变化讨论·····	( 282 )
32、	磷酸肌酸与兰球运动员力量、速度素质关系的初步 探讨·····	( 291 )
33、	某些生化指标在体操选材中的作用·····	( 299 )
34、	浅谈生化指标与标枪运动员的选材·····	( 305 )
35、	一些生化指标在游泳选材中的应用·····	( 311 )
36、	儿少兰球运动员磷酸肌酸的选材·····	( 318 )
	编后·····	( 322 )

## 运动训练篇

目前，由于国际体育运动水平迅猛提高，如何科学地进行训练便成为世界各国体育界的引人注目的重要课题。而作为运动训练学中的一门基础学科——运动生物化学，由于它能从本质上揭示运动训练中人体物质代谢的变化规律，故越来越显示出其重要的作用。

运动训练是一门新兴的科学。当代运动训练的一个重要特点，就是在分子水平上研究机体在运动训练的影响下，物质代谢的适应性变化规律，从而选择和发展各种训练方法，科学安排运动量，预防过度训练，最有效，最迅速地发展运动员的运动能力，提高运动成绩。本篇将从运动生化的观点出发，探讨运动训练时能量代谢特点和不同强度，项目运动在体内供能的无氧和有氧代谢规律，运动时体内物质的消耗和恢复过程，为制定训练计划，科学进行运动训练提供理论依据。

本篇主要由冯炜权副教授撰写和翻译。

# 1、运动生物化学在体育实践中的应用

冯炜权

体育是一门科学,但是属于一门什么性质的科学仍有争论,有人认为是自然科学,有人认为是社会科学,有人认为是体育科学是社会科学和自然科学的综合,也有认为体育科学就是体育科学,有自己的体系和理论,今天我们不讨论这些问题我认为体育科学本身是涉及到自然科学和社会科学,从自然科学的角度来看的话,体育有它很多做为基础的科学,如物理学、化学、数学、生物学,这些都是体育科学的基本学科。最近,从体育自然科学发展起来的专业的基础理论学科较多,如运动解剖学,运动生物力学,运动生物化学,运动生理学、运动心理学、还有体育统计学等等。目前我们国家开展体育科学研究,从毛主席提出的“发展体育运动,增强人民体质”的方针出发,体育的根本目的是为了促进健康,增强体质,陶冶性格,提高工作能力,延年益寿。因此,要求用科学来做为基础才能达到这样的目的。从竞技体育来看,要求运动员发挥本身最大的机能潜力,所以目前国际上,运动竞赛越来越剧烈,运动成绩越来越高,这就要求体育本身要有更高的科学水平,现在的体育训练不能停留在自然的阶段,在二、三十年代,练与不练运动成绩是不一样的,就是说训练一下的比不训练的运动成绩好,而60年代咱们国家主要是搞大运动量训练,就是说,练的多比练的少效果又不一样,到了现在,体育已经进入到科学训练的阶段,很多搞自然科学的人士,如搞物理学的、数学的、生化的、医学的都参加到研究体育这个领域中来,所以现在整个体

育研究已经进入到科学训练这个阶段。体育不仅是对正常人，通过体育来促进健康，而且康复医学里也运用了很多体育治疗的手段，还有残废人的体育，老年人体育。目前整个社会老年人多，老年人体育的开展，从各个领域里都需要进行科学的体育锻炼，所以对整个体育科学的发展要求是越来越高的。我们国家随着这个形势，各门科学也逐步开展研究，体育已经深入到我们的生活里，成为我们生活的需要，加速了最近这几年体育科学的发展，运动生物化学也就是在这情况下发展起来的。

运动生物化学这门科学的发展是比较年轻的，主要的工作开展是在第二次世界大战之后，40—50年代这个阶段，当时主要是苏联、西德、民主德国、这些国家开展了一些研究。比较成熟的是在60年代，1968年联合国的科教文组织发起成立了运动生化研究组织，在1968年于比利时的布鲁塞尔召开了第一届国际组织的运动生物化学会议，并成立了国际运动生物化学组织，第一次会议的主要议题是：在剧烈运动情况下，身体的生化变化特点，随着群众体育活动的开展，1973年在瑞士召开了第二次会议，因为群众性体育的迅速开展，主要是进行有氧代谢活动，故讨论了“长时间体育活动对身体的适应性”，就是说物质代谢适应的特点。这个讨论会之后，1976年于加拿大蒙特利尔召开了第三届国际运动生物化学会议，在这次会议上最主要的是讨论“运动与身体物质代谢是如何调节的”。1979年在比利时布鲁塞尔又召开了一次专门讨论会，主要是根据从罗马奥运会开始以后，在体育竞赛中禁用兴奋剂，专门讨论了运动时激素对身体的影响，主要是为禁用兴奋剂提供理论依据。1982年在美国波士顿召开了第五届会议，这次会议主要是讨论与运动性疲劳有关的问题。去年又在丹麦的哥本哈顿召开了第六次会议，主要是讨论疲劳和临床医学与运动生化的关系，前



后,一共召开了六次国际性会议,四次专题讨论会。从1968年至今不到20年,国际运动生化组织一共召开了十次会议,学术活动还是很频繁的,研究的内容很多,涉及面很广。但就我们国家来说,研究工作的开展是在1958年,在举行第一届全国运动会推动下开始了研究工作。从总的研究情况来看主要是竞技体育,就是说,运动训练这个问题搞的比较多,对群众性体育活动的开展的研究工作也开展了一些,但数量不多,所以我今天主要也是从训练的角度谈生化问题。可能大家要知道的有关体育锻炼,特别是群众性体育的开展,老年人体育等,运动生化在这方面的研究比较薄弱,只能把运动生物化学在训练中的一些情况给大家介绍一下,希望通过这方面的了解,也能体会到运动生物化学在体育中起了什么作用。

## 一、超量恢复理论和体育实践

超量恢复的理论,最先是由苏联学者提出来的。在50年代初期,苏联学者研究了身体的化学组成和在运动的时候体内的物质变化的规律,发现运动时物质被消耗。

身体的能源物质减少,如肌肉里面的糖元,在运动后的休息期,减少的物质会恢复,不但能恢复到原来的水平,而且能超过原来的水平。这一过程,称为超量恢复。

超量恢复现象,说明了为什么运动能促使肌肉生长粗壮?为什么能增加身体的运动能力?主要是因为运动给身体的刺激使得运动后物质可得到超量恢复,超过原来物质的贮存量。所以这就给运动训练,体育锻炼提出个问题,如果我们每一次运动训练在超量这个阶段时进行,机能可以不断提高(图(1-2))一次一次的刺激就会得到提高,所以体育锻炼能促进健康,

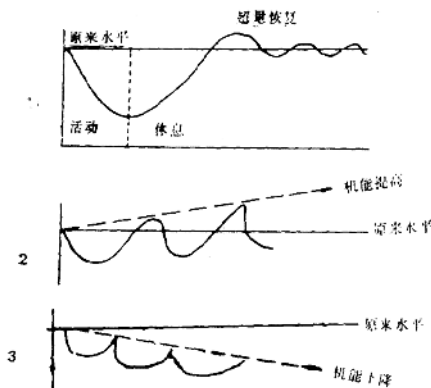


图1 超量恢复和训练

增强体质，提高运动能力。如果在运动时被消耗的物质在运动后没有得到恢复时，就进行下一次训练，那么身体机能会逐渐下降（〔图1—（3）〕）。所以运动训练不但要有适宜的运动量，还应有适当的休息间隔，使得被消耗的物质在休息时间内能得到恢复，这样机能水平才能逐渐提高。那么休息间隔应该怎样掌握呢？最难掌握的就是休息间歇问题，这牵涉到很多问题，如运动员参加比赛，必须在最好机能情况下才能取得好的成绩，所以进行运动训练或比赛要掌握好合适的休息间歇，掌握不好机能就下降，表1是当前对恢复时间的研究结果。

现就运动生化来说，身体消耗的物质与选择的时间恢复是不一样的，这是一次运动性疲劳以后，可以选择的休息间歇时间（表1）根据你的专项，磷酸原的恢复，指的是短时间最剧烈的运动项目（举重、短跑）进行这些运动时身体消耗的是A

表 1 筋疲力尽运动后可选择的恢复时间

恢复过程	可选择的恢复时间	
	最小	最大
肌肉中磷酸原恢复	2分钟	3分钟
肌糖原恢复		
长时间运动后	10小时	46小时
间歇运动后	5小时	24小时
肌肉和血液乳酸消除		
运动性恢复	30分钟	1小时
休息性恢复	1小时	2小时

TP—CP，这些物质被消耗，最少也得2分钟，最长4分钟。就是说，在这个时间范围内可恢复，所以我们进行短跑、举重、投掷这些项目时，每一次练习完了之后，休息时间过长，超量恢复又过去了，如果过短，还没达到超量恢复就进行下一次运动，效果是不好的，磷酸原系统的恢复是这样，一个钟头左右的运动，如一万米或1500米游泳，或是一场球赛，身体里面消耗的物质最多的是肌糖元，这个物质要达到恢复，而且要恢复的比较好，需要多长时间呢？最少要10个钟头以后才能得到恢复，如果要保证恢复的比较充分须2天，所以安排一次大的运动量训练或是比赛的话，就必须考虑到身体比较主要的消耗物质的恢复情况，另外，我们说短时间剧烈运动时身体里面产生很多乳酸，这个乳酸会使身体产生疲劳，所以运动结束后要尽快的使乳酸得到消除，乳酸的消除，比较好的也在30分钟，如果要保证基本上消除须要一个小时，这种休息叫运动性休息，

就是让运动员做完练习以后要休息一定时间，但要注意休息方法，不能坐着休息，如果坐着休息乳酸消除速率慢了一倍，要进行一些较轻的活动，如慢跑。因为机体活动时，呼吸、循环速度相对较快，肌肉的轻微活动，促使肌乳酸快速排入血液，并加快乳酸的氧化和消除。这就是说，不同运动项目，选择休息时间是要有所不同，所以超量恢复理论在运动训练中应用是比较多的，苏联的雅可夫列夫在1973年美国运动医学年会上讲到苏联运动生化发展情况的时候，指出超量恢复的研究工作是苏联的一个主要成就，而且提出来运动项目不同休息间歇的掌握原则——异时偿还原则。

## 二、运动性疲劳的突变理论

运动性疲劳的突变理论是英国Edwards于1982年提出来的，就是说，运动时身体物质的消耗造成身体的疲劳，身体物质的消耗是属于一个怎么样的状态呢？这是一个能量物质的消耗，随着能量物质减少，能量逐步下降，能量物质供应不足了，这是一种造成疲劳的途径，另一种就是从神经系统造成疲劳，兴奋性，活动性慢慢下降，然后疲劳出现，认为身体产生疲劳是能量物质消耗，神经系统兴奋性和活动性都达到一个非常低的水平，但不可能下降至身体完全处于衰竭状态，而是兴奋性，活动性慢慢逐渐减少，能量物质降低到一定程度时，会突然以疲劳表现出来保护机体避免发生肌肉僵直，或是细胞遭受损害，以突然的形式来出现，运动性疲劳是突变的，不是渐变的，过去认为是逐渐出现的，现在认为有个突变峰（图2），身体能量物质下降至一定程度时，兴奋性突然崩溃了，使身体的输出功率突然下降，在细胞遭受损害之前以疲劳出现迫使运

动停止，起了保护作用，当然，从训练的角度来看，不达到疲劳训练就没有效果，过去有一句话，没有疲劳就没有训练，身体的物质只有消耗较多的情况下，才会引起明显的超量恢复。

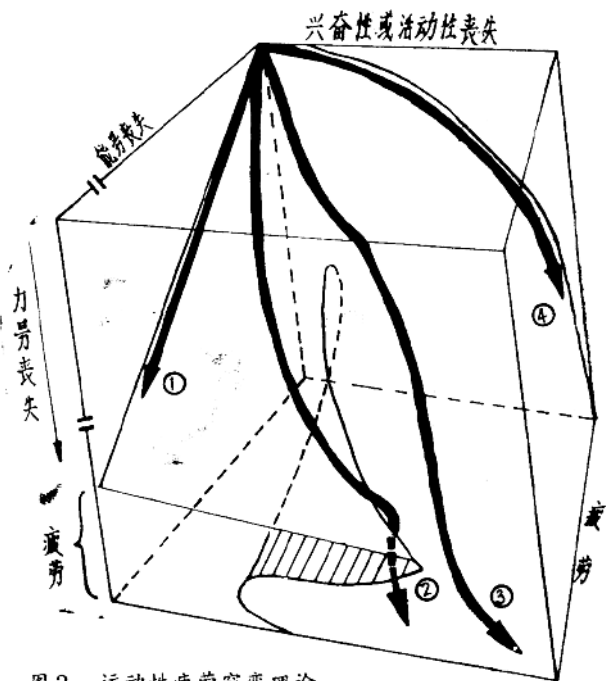


图2 运动性疲劳突变理论

不同形式肌肉疲劳的理论途径：①单纯能量消耗而不存在兴奋性丧失，继续下去则肌肉僵直；②带有突变的综合性疲劳——兴奋性或活动性衰退，突然力量丧失；③综合能量消耗和兴奋性丧失，但没有突变；④单纯兴奋性、活动性丧失，排除能量消耗。

但也要防止过度疲劳的训练，所以就要掌握好疲劳及恢复的关系，经过研究找出了不同运动时间身体疲劳的特点，（表2）

表2 不同运动时间疲劳的生化特点

时 间	生 化 特 点
0—5秒	神经肌肉接点处
5—10秒	ATP、CP下降、乳酸堆积(快肌)
10—30秒	ATP、CP消耗最大，乳酸堆积多
30"—10-15分	ATP、CP消耗，3—4'乳酸最高，10'时乳酸升高达30倍，肌肉PH↓
15—60分	ATP、CP消耗，肌糖原消耗最多，体温↑
1—6小时	肌糖原≈0.血糖↓体温↑脱水，电解质紊乱
5—6小时以上	能量物质大量消耗，代谢失调，体温↑，电解质紊乱

知道了0~5秒钟运动或1—6个小时长时间运动，身体引起疲劳的主要因素，我们就可以针对性来解决这些问题，如0—5秒钟，相当于60米的短跑，在这个时刻运动员引起疲劳主要是因为神经—肌肉接点的地方。5—10秒钟运动则要求使ATP—CP贮量增加，或耐酸能力加强，10—30秒，这期间引起疲劳主要是ATP—CP大量消耗及乳酸产生堆积，30秒—15分钟，乳酸堆积可达30倍，肌肉酸性增加，影响肌肉酶的活性，使糖不能分解供给能量，引起肌肉疲劳，15分钟—60分钟，肌糖元消耗最多，有人提出来是否可以补充ATP—CP数量来提高运

动力呢？食入ATP没用，因不能透过消化道细胞膜，所以主要是考虑怎么把血乳酸消除掉，增加CP的贮存量。1—6钟头，疲劳主要是肌糖元下降，血糖下降，体温上升，脱水，跑一次马拉松可减体重2—3公斤，还有电解质紊乱， $\text{Na}^+$ 、 $\text{K}^+$ 、 $\text{Ca}^{++}$ 平衡失控，易引起肌肉抽搐等现象，六个钟头以上，运动疲劳，能量物质大量消耗，代谢失调，体温上升，不同时间，身体疲劳是以不同物质的消耗表现出来的，在预防疲劳和加速疲劳的消除就可以针对性的来解决疲劳的问题。

### 三、科学训练方法的生化依据

运动生化为科学的制订体育锻炼，训练方法提供根据，现在发现人体在运动时能量供应有一个体系（图3），肌肉收缩时需要的能量，从哪来呢？通过运动生物化学的研究，比较清楚的是，不管身体作什么运动，首先供给能量的是ATP，在肌肉中存在这个物质，全身肌肉中ATP含量大概有多少呢？约是50g左右，每天ATP消耗和恢复的周转数量相当于你的体重约50公斤，数量是很多的，运动时能量是ATP直接提供的，ATP提供能量而转变为ADP，ATP需要补充，如果不给补充，肌肉没有能量就不能运动了ATP的补充由三个系统来进行、第一：是通过ATP—CP系统来补充，这个系统进行的很快，马上就可以补充，就是说，ATP减少，CP马上分解补充它；第二个能量系统是肌糖元，在无氧情况下，可供能而转变成乳酸，这个系统也较快补充ATP，另外，糖、脂肪、蛋白质也可以通过有氧化补充能量而自身转变成 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 和尿素等，所以人体在运动时的能量是由第一个系统磷酸原系统，第二个系统

糖酵解系统，第三个系统是糖、脂肪、蛋白质的有氧氧化，最后都变成 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 和尿素，供给身体能量。这三个系统的能量有多少呢？分析肌肉里的数量（表3），可知ATP—CP的

表3 人体骨骼肌贮能和供能能力

能 量	贮 量 (mM/kg ww)	最大功率 (w/kg)	可供运动时间
ATP	6	50	6—8秒
CP	17—20		
糖原(葡萄糖单位)	36.5		
△乳酸		25	30—60秒
△ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$			1—2分
(脂肪酸→ $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ )		13	1.5~8小时

输出功率相当于每公斤体重50瓦的功率，最大供能时间6—8秒钟就将贮存的用完了，也就是说，在跑100米的情况下，用最快速度跑，身体的第一个能量系统都耗光了，还不够供能，一般来说，如果你的ATP—CP贮量越多，力量素质、速度、爆发力就越好。第二个能量系统就是糖原无氧分解产能，这个能量系统在输出功率上比ATP—CP减少了一倍，可供能的时间大概是30—60秒钟，可延长到1—2分钟，就是说，可以在1—2分钟内，肌糖原通过糖酵解形式供能而生成乳酸，释放能量，维持运动时间不超过2分钟，超过2分钟以上运动怎么办？就得由糖、脂肪、蛋白质氧化成 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 和尿素供能，从



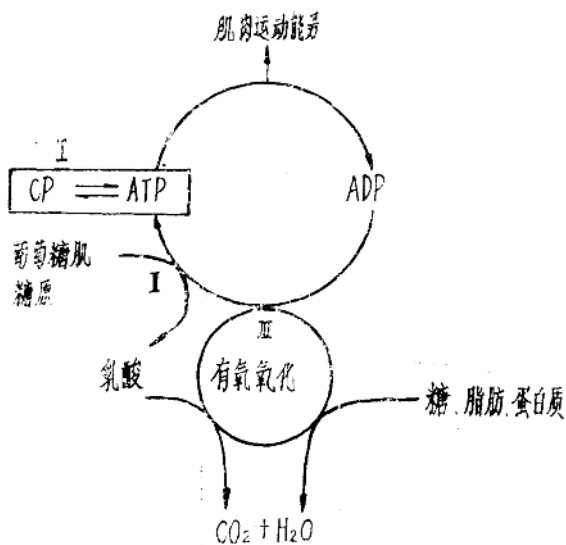


图3 运动时能量体系

这个能量系统转入另一个能量系统时输出功率就下降。所以，不能以100米速度跑400米，也不能以400米速度来跑马拉松，这是因为采用的能量系统不一样，输出功率受到限制，你可以最大限度来发展它，但是不能代替它。这是运动时能量供给情况，根据这个特点，在训练时就要对各种方法加以选择，如果要提高爆发力和速度，那就要发展ATP—CP系统的供能能力，如果是针对400米，800米跑的话就要重点发展糖酵解系