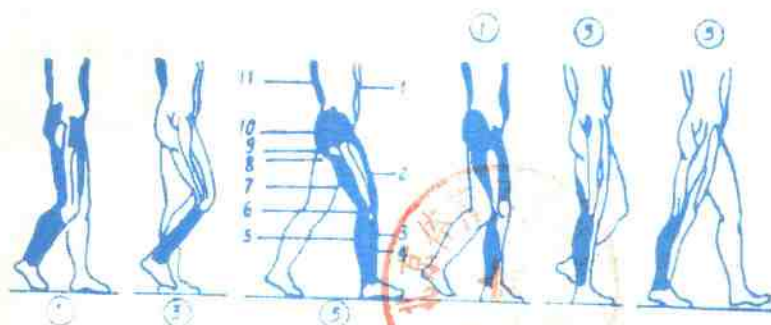
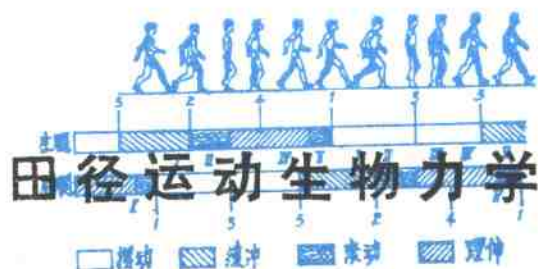




田径运动生物力学

(田径教练员岗位培训参考书)

王保成、高洪敏、李淑芳

编 译

黄 治、蔡锡元、王云德

审 校

一九九三年六月

编 者 的 话

本书专门论述田径运动的生物力学理论与实践的基本内容，对各级田径教练员岗位培训具有一定的指导意义，可作为参考书应用。

本书编译自（苏）B·П乌特金《运动生物力学》。

目 录

第一章 田径运动基础生物力学.....	(1)
第1节 身体和运动能力.....	(1)
第2节 运动能力的年龄变化.....	(3)
第3节 运动的年龄期.....	(6)
第4节 运动机能指标信息予测法.....	(8)
第二章 田径运动素质的生物力学原理.....	(11)
第1节 耐久力的生物力学原理.....	(11)
第2节 力量与速度生物力学原理.....	(24)
第3节 稳定性生物力学原理.....	(27)
第4节 一般身体练习的生物力学原理.....	(29)
第三章 走、跑的生物力学.....	(36)
第1节 走、跑的运动学特征和参与工作的 肌肉群.....	(37)
第2节 走、跑的动力学.....	(42)
第3节 走、跑的能量学.....	(45)
第4节 走、跑的最佳化.....	(47)
第四章 投掷和跳跃生物力学.....	(51)
第1节 投掷的运动学特点.....	(51)
第2节 投掷过程中参与工作的肌肉群.....	(52)
第3节 投掷的最优方式.....	(53)
第4节 跳高的运动学特点.....	(55)
第5节 跳高的动力学特点.....	(57)

第6节 跳远的力学特点·····	(58)
第五章 田径运动生物力学监测原理·····	(61)
第1节 从直觉到科学的知识·····	(61)
第2节 生物力学测定·····	(62)
第3节 技战术水平的定量评定·····	(72)
第4节 测定的准确性·····	(74)
第5节 生物力学测验与教学评估·····	(76)
第6节 运动素质的测试·····	(81)
第7节 生物力学监督的自动化·····	(88)
第8节 生物力学特征的遥测与记录方法·····	(92)
第9节 生物力学监督与电子计算机·····	(95)
第六章 人体运动器官·····	(100)
第1节 人体质量的几何分布·····	(100)
第2节 人体环节的杠杆和钟摆·····	(104)
第3节 骨骼和关节的力学特性·····	(108)
第4节 肌肉的力学和生物力学特性·····	(110)
第5节 肌肉收缩方式和种类·····	(113)
第6节 肌肉群的相互作用·····	(115)
第7节 肌肉收缩功率与效果·····	(115)
附录: 编写符号对照表·····	(117)

第一章 田径运动基础生物力学

第1节 身材和运动能力

人的运动能力取决于身材的特征：

——身高与体重；

——身体比例，即身体各部的尺寸对比(躯干、四肢)；

——体质特征。

人们身体的尺寸比例有着很大的区别，因而其运动能力也不相同。如果身体训练水平相同，则体重大的人在肌肉力量方面拥有较大的优势(图1)。同时，相对的肌肉力量(体重以1 kg为计算单位)随着身材的增高而降低。

在行走和跑步时，步幅和步频在很大程度上由身体长短首先是腿长决定的。例如，身高相同、年龄大的孩子跑步时，步幅就较大，这与他们的腿长有关。

解剖生理特征影响着动作的运动学和运动活动的策略。人在成长过程中，其身体和结构要发生很大的变化。人自选的

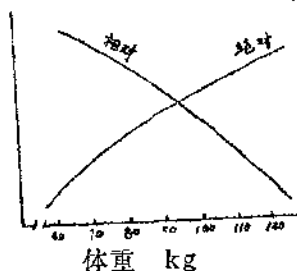


图1 绝对肌力与相对肌力取决于体重

移动方式也随着变化。选择适宜的速度、步幅和步频可通过最佳标准来测定。但这一标准随着从儿童期向成年期的转化而逐渐改变。

在地球上的生命产生和发展进程中已经定型的天然的最佳标准就是经济性。因此，根据正常条件下能耗极限原则，成年人独立地选择诸如速度、步幅和步频等移动方式，这时，消耗在单位距离上的能量最小。

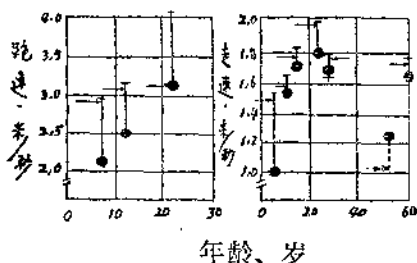


图2 不同年龄的人自选(箭头所示)跑和走的方式。——1——代表经济方式尾，区域下端。——代表最经济(最合理)的移动速度，区域上端。——为厌氧界限；双箭头表示心血管系统病患者可选择的速度；+——代表女性。

与成年人不同，小孩的天然运动活动目的在于发展和完善有机体的各个器官和各个系统。组织这种活动要符合骨骼肌的能量法则，依照这一法则，发展和形成的过程只有在紧张的运动活动条件下才是有效的。现已判明，学龄前儿童在走、跑时，能耗极限原则受到了破坏。孩子们自选的运动方式较之能量的合理性强度要大得多(图2)。随着向少年和青年期转变这一差别也会缩小，实际上已经消失，转变到完全成熟。

中年以上的人，特别是身体衰弱的人选择移动速度要低

于合理的速度（参看图2）。显然对受伤的人，心肌梗塞及其他严重病患者，安全是首要的任务。

个人特点不仅影响着合理的技术，也影响着合理的运动活动战术。图3显示，在自行车运动（赛车场）、游泳、赛跑和其它一些周期性运动项目的比赛中努力夺取最好运动成绩时，合理的运动学强度图象，只要消耗在全程上的精力不超过5——7分钟。机械功率应当因人而异，因为每个人的能量系统能力不同。如儿童的氧化系统功率（MOK）和乳酸分泌系统容量就明显地低于成年人。

——自测试题

请描绘出短距离、中距离、长距离的速度分配，如果主要的合理性标准为：（1）经济性；（2）机械效率。

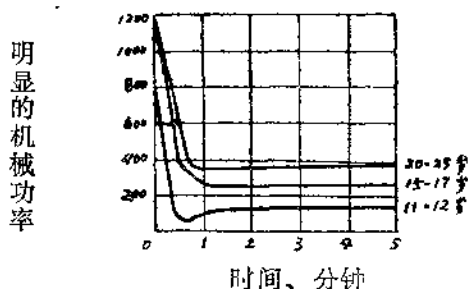


图3 不同年龄组人的机械功率合理的动力学效率。

第2节 运动能力的年龄变化

在年龄增长过程中，运动能力的完善受二个因素的影响：成熟和专门训练。成熟——这是由生命起源演化为前提的改善有机体各个系统的过程。专门训练——是教学影响的

结果。这二种因素的相互作用可以会有不同的性质：平和的，协同的或对抗的。而且在相互协同作用时，总的效果要比一种因素的效果大。

受过一般训练的儿童在掌握基本运动动作方面有着一定的连贯性。对孪生儿进行研究表明，在与人交际的场合中，婴儿学习手拿玩具、学习坐、立和行走一定时间，都不决定于教不教他。这是一个专门训练与成熟相互作用的例子。

失去人类社会照顾的孩子，不会掌握如直线行走这一类最普通的运动活动形式。历史上确有不少此类的例子，如有个斗哈乌杰尔的青年，他在婴儿时期就被关在单身牢房里，从没见过过人，也就不掌握最普通的人的动作。

教学影响，只有当有机体达到一定成熟阶段，才会收到效果。人的一生中有一段感觉敏锐期，在此期间掌握各种运动动作和运动素质最为有利。与此相似的敏感现象在动物身上也可以观察到：从准备状态马上做出相应的动作反应，当然，引起这一反应的刺激物表现在一定的生命期里。例如，鸡雏紧跟在母鸡后面或紧跟在运动着的物体后面（如鞋、球、猫等），这些物体从鸡雏破卵而出就首先进入其视野。

教学任务——就是把教授措施与感觉敏锐发展期联系起来并使感觉与教会的过程协同一致。

已经证明，在这一时期，由于在学校体育课采取量不算大的训练用练习，可以取得积极的进展。

某些运动素质的训练与发展应考虑到感觉敏锐期这一学说。如表1

过早的教授会妨碍运动动作的掌握。早期运动专业化也同样会影响在成年时取得优良的运动成绩，特别是在力量和

建议学龄期儿童班作业应选择的练习
(根据康尼金著作, 1987年)

练 习	年 龄 岁										
	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
耐 力 练 习	慢跑 (50 % 最大速度) 持续时间 6—12 分钟	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	••	••	•	•	•
	滑雪训练或越野跑	••	••	••	••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
	跳跃练习	•••••	•••••	•••••	••	•	•	••	•••	•	•
	灵敏性运动 (足球、冰球、球、网球、篮球)	•••••	•••••	••	••	•	•	••	•••••	•	•
发 展 力 量 练 习	单双杠习练	•	•	•	••	•••••	•••••	••	•••••	•••••	•••••
	哑铃、壶铃、杠铃练习	•	•	•	••	••	••	••	•••••	•••••	•••••
	发展躯干、腹肌力量练习	••	••	••	••	••	••	••	•••••	•••••	•••••
发 展 速 度 练 习	投掷、多级跳、跳越体操凳	••	••	••	••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••	•••••
	灵敏性运动 (兰、排球、乒乓球)	•••••	•••••	•••••	•••••	••	••	••	••	••	•

注: 小星越多, 则该练习的范围应越大。

速度力量型的运动项目中。例如，肌磷酸能量系统未成熟之前，也就是16—17岁以前不应该从事竞技体操和其它一些力量性练习。否则专门训练与成熟将是一对对抗体，因此，从事体育活动带给人们的不是好处，而是对成长着的有机体的损害。

每项运动活动都有年龄范围，在此范围内可以取得最好的运动成绩。在此范围的多数情况下，从16至30岁这个年龄段是人的运动能力的鼎盛时期。从各个运动项目所搜集到的有关年龄的资料说明，大部分运动员都取得了卓越的成就。非常明显的是，参加重大国际比赛的优胜者的平均年龄都与他们的运动素质、运动水平达到顶峰期紧密相连。例如，在许多周期性运动项目中，最重要的素质是耐力，而耐力只有在成年期才能达到最高的值。以田径运动为例，随着距离延长，冠军的平均年龄有提高的趋势：从22岁跑100m，到26岁跑1500m距离，再到31岁跑马拉松。

人的运动能力在青年时期得到积极的发展，而到成年时就逐渐减弱了。到一定阶段，这一点可由训练和经验得到补偿（图4），特别是在一些具有复杂的技战术运动项目里。例如，世界著名的苏联守门员雅申，已经40岁了，仍保持着极好的技战术水平，不仅效力苏联国家队，而且在世界联队中亦担任重要角色。

第3节 运动的年龄期

如果要测量同一年龄的一大组孩子完成某项运动练习的结果（如9—10岁的孩子），那么就可以测定他们的平均成绩（图5）。在同一个组里一定会脱颖而出了一批其成绩高于

平均水平的儿童。——他们的运动年龄超过了进度表的要求。这一类儿童属于天分强的类型，不同于那部分落后于进度表的天分差的。在一些运动练习里是天分强的，而在另一运动能力

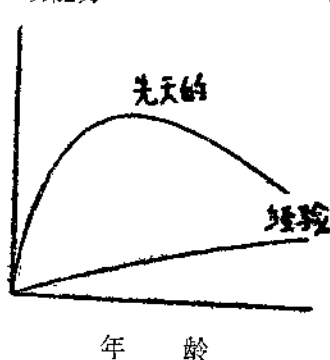


图4 运动能力的年龄变化——先天的和与人的运动经验相联系的。

测验结果

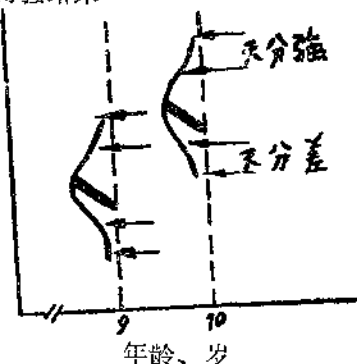


图5 在完成同一个运动练习时9—10岁儿童所显示的成绩：箭头表示天分强的成绩（高于平均水平）和天分差的（低于平均水平）；图形表明年龄小，天分强的成绩能超过年龄大、天分差的成绩。

些练习中也可能是天分差的。例如，一个孩子在力量练习中可能超过自己的同龄人，而在要求耐力和准确性的练习中可能会落后。

天分强弱的存在容易解释清楚。问题在于运动能力的发展速率不仅取决于遗传的个人特点，而且与生活条件也有关：或是由于患病、或是由于营养不良而延缓了进步。一旦

条件正常化，就会加快发展速度，正如俗话说，孩子又回归到自己的“发展轨道”。

为评定运动年龄期而制定了一些表格，表格中介绍了按进度表完成各种运动练习的平均成绩。在利用这些表格时，一定要考虑到国内不同地区（或不同国家）的运动年龄期的指标由于气候条件、民族特点或社会因素等而存在着差距。如以这些表格为依据，可以采用劳卫制锻炼标准。

自我测试题

1. 耐力和速度素质的因素哪些会得到提高，而哪些会降低？

①在从儿童期向成年期转化时？

②随着向半老年转化时？

2. 运动天分差的人，其运动素质指标总是低于天分高的人吗？例如，你如何解释一个60岁的人，他在运动能力方面不亚于40岁的人？

第4节 运动机能指标信息预测法

经常会遇到这样一个问题，一个人经过若干年，由婴儿到长大成人，他的运动能力会有什么变化吗？通过对遗传因素的影响（运动家庭、孪生儿等）的研究，以及对儿童运动机体的纵向观察（即在序列年龄期间长期观察）所获得的资料有助于回答这个问题。

能进行预测的年龄期通常称作青春发育期。这一年龄期所登记的指标值就称作青春发育期指标。发育成熟期指标需

在发育成熟期里登记，这部分指标也可进行预测。例如，儿童期指标值称作青春发育期指标（原文如此一译者注），而成年期一就称作发育成熟期指标。青春发育期指标和发育成熟期指标之间的相关系数就是运动机体信息的预测指标。青春前期所测定的运动机体指标可提供最可靠的预测数据（图6）。在性成熟期，信息预测效果降低，这与有机体所发生的变化紧密相关。

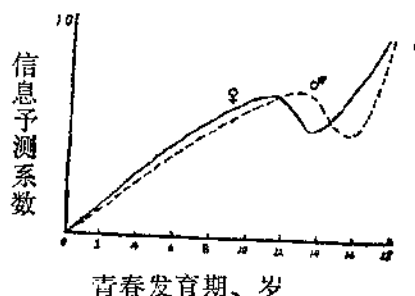


图6 发育成熟与青春发育期运动能力值之间的相关系数（发育成熟期为18岁）。

到17—18岁时，信息预测效果又会提高，接近最佳值，与测验的可靠数据相吻合。

复习题

为什么在同一年龄段对同一个指标进行两种测定结果间的相关系数等于测验的可靠性而不是某个数值呢？

运动机体的各种指标的稳定性不一样。耐力指标最稳定。例如，游泳成绩的可靠系数值，从50m段的0.44提高到800m距离的0.85。特别是儿童和少年在准确命中目标的这一类指标的稳定性最小。随着人的年龄的增长和运动技

术水平的提高，运动机体指标的稳定性也会得到提高。

习惯性动作

多数人完成日常动作和运动动作喜欢固定使用同一侧的臂和腿。这种不对称的动作称为习惯性动作。习惯性的—侧或肢体被称作优势现象。能够同样支配两侧肢体的人称作两侧运动能力均等的人。

有这样一种说法，人生下来大约有25%的右臂运动能力强，25%左臂运动能力强，50%的属于两侧运动能力均等。后来，在许多社会因素的影响下，这些两侧运动能力均等的和左臂运动能力强的都转变为右臂运动能力强的人。这一点可由事实来说明，在一些发达国家，占压倒多数的人习惯使用右手，右腿是摆动腿，而转弯通常向左转。在一些发展落后的民族，表现出左右臂能力强的大致相等的数量。可见，除了历史形成的传统之外，习惯使用右手，并没有任何客观的原因。

在运动中，善于在两侧完成技术动作被认为是具有高超运动技术水平的一种标志，特别是在球类运动一对一的交锋中。但是，这种两侧运动能力强的选手实在是太少了，在球类运动中，只有近5%的运动健将才能达到。这一技术水平应该在技术训练的早期阶段打好基础。

自我测试题

1. 身高的尺寸对主要运动素质有何影响？
2. 人的运动能力与其年龄有何联系？
3. 感觉和教会在不同的年龄发展期如何相互作用？
4. 进程表和运动年龄期的指标区别在哪里？在什么情况下二者能吻合一致？

5. 天分高低的区别在哪里?
6. 青春发育期和发育成熟期运动指标之间的相关系数的高值说明了什么?
7. 人的生命期里哪个时期叫做感觉敏锐期?
8. 为什么在各个运动项目中都有年龄段, 在这个年龄段中运动员经常取得卓越的成就?
9. “运动能力占优势的手”表示什么意思?

第二章 田径运动素质的 生物力学原理

要想提高耐力、速度、柔韧、灵活和力量等素质, 光记录其外部的参数是不够的。需竭力了解保障运动素质的生命过程的实质。

第1节 耐久力的生物力学原理

让我们以跑为例来分析这一问题。跑动距离越长, 则克服这段距离所花费的时间也越长, 这是十分清楚的。我们设计了一个图表(图7)来说明跑的距离与所需时间的关系。将图中的各个点连结起来, 就会获得一条自左至垂直轴截断处的斜线, 这条线之间的段为 a , 这幅图的数字记录公式为:

$$\Delta S = a + b t,$$

这里 a —代表无氧储备距离, 表示人依靠无氧能源能够跑完

的距离。

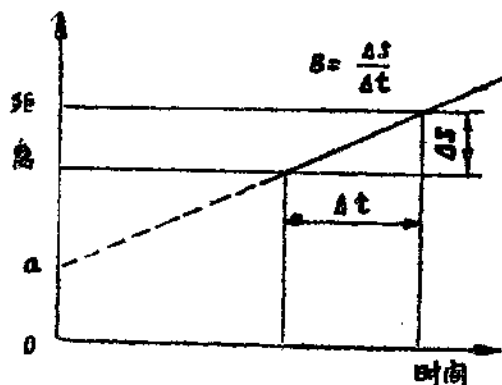


图7 计算缺氧段距离和临界跑速的图示法

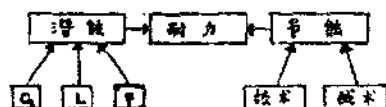


图8 受人的耐力所支配的基本因素

代表符号： O_2 、L、F—代表动力系统氧化物，乳酸、肌磷酸的容积和浓度（这些内容在生理和生化课中会详细说明）

一个受过良好训练的人，这段距离（平均）为100—200 m，这要看其无氧动力系统的容量如何。一个小孩，其无氧阶段距离大为缩小，随着年龄增长，其体力也随之增强，b—代表临界跑速，此时达到最大需氧水平（参看图7）；人的体力越强，则其临界速度越大。

$$b = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

耐力不仅依靠人的潜在能力，而且也依靠善于经济地消