

Я. М. 科查 主编
王步标 陆绍中 旷金坚 马芳掾 盛旭初 译

运动生理学



湖南师范大学出版社

运 动 生 理 学

Я. М. 科查教授 主编

王步标

陆绍中

旷金坚 译

马芳掾

盛旭初

湖南师范大学出版社

运 动 生 理 学

Я·М·科查 主编

王步标 陆绍中 等译

责任编辑：廖建军

湖南师范大学出版社出版

（长沙市岳麓山）

湖南省新华书店经销

湖南省益阳湘中印刷厂印刷

787×1092 32开 9.25印张 215千字

1991年4月第1版 1991年6月第1次印刷

印数：1—3400册

ISBN7—81031—083—6/G·039

定价：3.55元

序

运动生理学是体育学院学习的生理学课程的第二部分。这门课程的基本内容是人体肌肉活动的生理学，运动活动是其中的一部分。在运动生理学课程中，可以挑出两个中心问题即不同运动项目的生理学特征和运动训练时有机体适应的生理学机制。

通常，运动活动是与保证它实现的主要生理系统的极度或几乎极度紧张相联系的。运动生理学的基本任务就是对不同体育项目中人体各系统的或整个机体的生理反应给予定量的评述。其实，早在1939年出版的A·H·克列斯托甫尼科夫主编的《运动生理学》教材中，就系统地阐明了运动项目的生理学评述的主要意图。该书在很大程度上总结了身体练习和运动的生理方面的研究，这些研究在我国和国外都还是在上世纪末才开始的（见《肌肉活动生理学》一书的序，莫斯科，体育和运动出版社，1982年）。

由于多种多样的体育项目的大量涌现，很有必要对它们分类。即根据它们具有的共同生理特征而归纳为几类身体练习（第一篇）。本书的第二篇对那些对身体（运动）素质如力量、速度、耐力要求很高的主要项目给予一般的生理学评述。

本书的第三篇的目的在于扩大对运动时有机体的生理反应的认识，揭示运动员机体对不同外界条件适应的特点。使教练员有可能估计到外界条件对运动工作能力的影响，从而安排好

运动员在不同外界条件下竞赛前的训练负荷，考虑对环境适应的性质和机制，即习服。

运动生理学的另一个重要的任务是介绍机体对身体负荷的生理适应的知识，即阐明在系统训练的影响下，各器官系统的功能变化及其机制，从而保证受训练者有更高的功能能力。还应指出，对这一问题（主要是由于运动训练过程中中枢神经系统的适应机制）的阐述，是А·Н·克列斯托甫尼科夫在《身体练习生理学概论》一书中首先提出的（1951年）。1960年出版的В·С·法尔费利的《运动生理学》专著，进一步发展了这个问题。

本书中提出的关于机体在运动训练过程中出现的专门的生理适应变化，可通过对照不同专项运动员和非运动员在安静时、定量负荷时以及极量负荷时的生理指标而获得（第二篇和第三篇）。但应强调指出，仅仅根据那些指标的横向比较结果，要揭示出系统从事体育运动时机体的生理适应的“真正的”效果是不可能的。对受训练者进行长期追踪研究（“纵向”研究），可以提供更充分的情况。可惜，在目前，这类观察的期限很少超过几星期或几个月，这就限制了我们对运动训练的生理效果，特别是生理机制的认识。

第四篇叙述了不同性别和年龄的从事体育运动者的生理特点。但限于本书的篇幅，未能对这一问题给予足够充分的揭示。根据苏联体育运动委员会生理学科组的决定，这个问题应在体育教育的生理学基础的专门教材中有更详细的阐述。

目 录

第一篇 运动练习的生理学分类和一般评述

第一章 身体练习的生理学分类

I·1 身体练习的一般生理学分类·····	(2)
I·1.1 局部、区域性和综合性练习·····	(2)
I·1.2 静力性练习和动力性练习·····	(2)
I·1.3 力量、速度—力量和耐力练习·····	(3)
I·1.4 身体练习的能量特征·····	(6)
I·2 运动练习的生理学分类·····	(11)
I·2.1 周期性练习的分类·····	(15)
I·2.2 非周期性练习的分类·····	(25)

第二章 运动时人体生理状态的变化

II·1 赛前状态和准备活动·····	(29)
II·1.1 赛前状态·····	(29)
II·1.2 准备活动·····	(31)
II·2 进入工作状态、“极点”、“第二次呼吸”·····	(34)
II·2.1 进入工作状态·····	(34)
II·2.2 “极点”和“第二次呼吸”·····	(37)
II·3 稳定状态·····	(38)
II·4 疲劳·····	(43)
II·4.1 疲劳的部位与机制·····	(43)

Ⅱ·4·2 完成不同练习时的疲劳	(50)
Ⅱ·5 恢复	(53)
Ⅱ·5·1 停止工作后功能的恢复	(53)
Ⅱ·5·2 氧债和机体能量储备的恢复	(54)
Ⅱ·5·3 积极性休息	(60)

第二篇 身体素质的生理学基础

第三章 肌肉的力量和速度—力量(功率)素质的生理学基础

Ⅲ·1 肌肉力量的生理学基础	(61)
Ⅲ·1·1 肌肉的最大静力力量和最大随意静力力量.....	(62)
Ⅲ·1·2 肌肉的随意力量和肌肉耐力的关系	(66)
Ⅲ·1·3 肌肉的功能性肥大	(68)
Ⅲ·2 速度—力量素质(功率)的生理学基础	(71)
Ⅲ·2·1 功率的力量成分(动力性力量)	(72)
Ⅲ·2·2 功率的速度成分	(75)
Ⅲ·2·3 速度—力量练习的能量的评定	(78)

第四章 耐力的生理学基础

Ⅳ·1 概念的确定	(82)
Ⅳ·2 机体的有氧能力和耐力	(83)
Ⅳ·3 氧运输系统和耐力	(86)
Ⅳ·3·1 外呼吸系统	(86)
Ⅳ·3·2 血液系统	(91)
Ⅳ·3·3 心血管系统(血液循环)	(102)
Ⅳ·4 肌肉装置和耐力	(117)

第五章 动作技能形成和运动技术教学的生理学基础

V.1 条件反射机制是动作能形成生理学基础·····	(127)
V.2 传入神经在形成和保持动作技能中的作用 (反馈联系)·····	(135)
V.3 运动记忆·····	(139)
V.4 动作自动化·····	(141)
V.5 运动技术和完成练习的能量节省化·····	(142)
V.6 运动技术教学原则的生理学依据·····	(143)

第三篇 外界特殊条件下的运动能力

第六章 气温与湿度对运动能力的影响

VI.1 高温高湿时散热的物理机制·····	(147)
VI.2 高温高湿时加强散热的生理机制·····	(148)
VI.2.1 皮肤温度与皮肤血流量·····	(148)
VI.2.2 汗液生成与汗液分泌·····	(149)
VI.2.3 水盐平衡·····	(150)
VI.2.4 血液循环系统·····	(155)
VI.3 热适应(习服)·····	(157)
VI.3.1 热适应时的生理变化及其机制·····	(158)
VI.3.2 运动员的热适应·····	(161)
VI.4 饮水制度·····	(162)
VI.4.1 比赛时水分的丧失及其补充·····	(162)
VI.4.2 炎热条件下训练过程中水和盐的丧失·····	(166)
VI.5 在低气温(寒冷)条件下的运动活动·····	(167)
VI.5.1 适应寒冷的生理机制·····	(167)
VI.5.2 寒冷条件下体力工作·····	(169)
VI.5.3 冷适应(习服)·····	(171)

第七章 低气压(高压)条件下和地域——气候条件变更时的运动能力

Ⅶ.1 低气压的急性的生理效应·····	(174)
Ⅶ.1.1 呼吸功能·····	(174)
Ⅶ.1.2 血液循环·····	(178)
Ⅶ.1.3 最大吸氧量的下降·····	(180)
Ⅶ.2 高原适应·····	(181)
Ⅶ.2.1 肺通气量增加·····	(182)
Ⅶ.2.2 肺的扩散功能提高·····	(183)
Ⅶ.2.3 血液系统的变化·····	(183)
Ⅶ.2.4 血液循环系统的变化·····	(187)
Ⅶ.2.5 组织适应·····	(187)
Ⅶ.2.6 最大吸氧量的变化·····	(188)
Ⅶ.3 在高原上及回到平原后的运动能力·····	(189)
Ⅶ.3.1 完成速度—力量练习(无氧)时的运动能力·····	(189)
Ⅶ.3.2 完成耐力运动时运动能力·····	(190)
Ⅶ.3.3 高原训练对平原上有氧工作能力的影响·····	(191)
Ⅶ.4 地域——气候条件的变更·····	(193)

第八章 游泳运动生理学

Ⅷ.1 机械因素·····	(197)
Ⅷ.2 游泳的能量代谢·····	(199)
Ⅷ.3 最大吸氧量·····	(202)
Ⅷ.4 氧运输系统·····	(203)
Ⅷ.4.1 外呼吸·····	(203)
Ⅷ.4.2 心血管系统·····	(206)
Ⅷ.5 局部(肌肉)因素·····	(208)

第四篇 不同人群训练的生理学基础

第九章 女子运动训练的生理特点

- Ⅸ·1 机体的功能能力与身材大小的关系..... (212)
- Ⅸ·2 女子的力量, 速度—力量和无氧能力..... (214)
 - Ⅸ·2·1 肌肉力量..... (214)
 - Ⅸ·2·2 女子的无氧能量系统..... (218)
- Ⅸ·3 女子的有氧工作能力(耐力)..... (219)
 - Ⅸ·3·1 最大吸氧量..... (219)
 - Ⅸ·3·2 氧运输系统的最大能力..... (222)
 - Ⅸ·3·3 亚极量有氧工作能力..... (226)
 - Ⅸ·3·4 耐力训练引起的生理变化..... (227)
- Ⅸ·4 月经周期与体力工作能力..... (228)

第十章 学龄儿童运动训练的生理特点

- X·1 个体发育与年龄分期..... (231)
- X·2 生理功能与系统的年龄特征..... (233)
 - X·2·1 高级神经活动..... (233)
 - X·2·2 物质与能量代谢..... (235)
 - X·2·3 血液系统..... (238)
 - X·2·4 循环..... (239)
 - X·2·5 呼吸..... (243)
- X·3 动作的发展和运动(身体)素质的形成..... (246)
 - X·3·1 运动器官..... (246)
 - X·3·2 基本动作的特征..... (247)
 - X·3·3 运动素质的发展..... (248)

X.4 青年运动员的生理特征	(253)
X.4.1 运动员工作能力的年龄特点	(253)
X.4.2 运动时机体变化的年龄特征	(255)
X.4.3 运动定向及其生理学标准	(257)

第十一章 体育和运动课的一般生理学规律(原则)

IX.1 训练的两个主要功能效果	(261)
XI.2 阈训练负荷	(262)
XI.2.1 训练负荷的强度	(265)
XI.2.2 训练负荷的持续时间	(268)
XI.2.3 训练负荷的频率	(269)
XI.2.4 训练负荷量	(269)
XI.3 训练效果的专门性	(270)
XI.3.1 动作技能(运动技术)方面的训练效果的专门性	(271)
XI.3.2 主要的身体素质方面的训练效果的专门性	(272)
XI.3.3 主动肌群方面的训练效果专门性	(273)
XI.3.4 在各种的外界环境条件下表现的训练效果的专门性	(276)
XI.4 训练效果的可逆性	(277)
XI.5 可训练性	(279)

第 一 篇

运动练习的生理学分类和一般评述

第一章 身体练习的生理学分类

人，在日常生活里，在生产工作中，以及在从事体育活动时，要完成各式各样的动作，从生理学观点看，这些以达到确定目的的（运动任务的解决）、不间断的、彼此联系的动作的总和，就是身体练习。

在竞技性的运动练习中，运动动作的总和是以达到最高的运动成绩为目的（例如跳高、掷标枪、射击、球类运动、一定距离的跑或游泳等运动练习）。

包括运动练习在内的身体练习很多，有必要按一定条件对它们进行分类。生理学分类是把具有相似功能特征的身体练习归并成一类。一方面，可以采用在一定程度上相似的体育（运动训练）方式、手段和方法来顺利完成这类练习，另一方面在体育（运动训练）体系中可采用同一类练习来提高同一生理器官、系统和机构的功能能力，从而提高同一身体素质。因此，采用同一类身体练习中的各种练习，如长跑、骑自行车和滑雪，可以有效地提高在很大程度上决定耐力发展水平的心血管系统和呼吸系统的功能能力。

I.1 身体练习的一般生理学分类

身体练习的最一般的生理学分类,可以根据完成相应练习的肌肉活动所表现的三个基本特征来区分:

- 1) 活动的肌肉块的数量。
- 2) 肌肉收缩的形式(静力性或动力性)。
- 3) 肌肉收缩的力量或功率。

I.1.1 局部、区域性和综合性练习

根据活动的肌肉块的数量,所有的身体练习可分类为:局部练习、区域性练习、综合性练习。

在完成练习时,参加活动的肌肉块少于身体全部肌肉块 $\frac{1}{3}$ 的属局部练习(射箭、手枪射击等)。

在完成练习时,参加活动的肌肉块占身体全部肌肉块 $\frac{1}{3}$ —— $\frac{1}{2}$ 的属区域性练习(仅仅用手臂和肩带肌、躯干肌完成的体操练习等)。

在完成练习时,参加活动的肌肉块占身体全部肌肉块 $\frac{1}{2}$ 以上的属综合性练习(跑、划船、骑自行车等)。极大多数的运动练习都属综合性练习。

I.1.2 静力性练习和动力性练习

根据完成该练习的主要肌肉的收缩形式,全部身体练习可以相应地划分为静力性练习和动力性练习。

例如,体操运动员在完成手倒立时,射击运动员在射击的瞬间保持规定的姿势都属静力性练习。

大多数的身体练习都属动力性练习,所有的带有位移形式的运动项目,如竞走、跑、游泳等都是动力性练习。

I · 1 · 3 力量、速度—力量和耐力练习

在根据主要肌群的收缩力量来分类身体练习时，应考虑两种属性：肌肉收缩的“力量—速度”和“力量—耐力”。

根据“力量—速度”的属性（图 1），动力性收缩时表现出的力量同肌肉的收缩速度（位移的身体环节的运动速度）成反比，速度愈大，表现的力量愈小。这种属性的另一种说法是，外负荷（阻力、重量）愈大，收缩速度（运动）愈低，表现出的力量愈大。相反，外负荷愈小，运动的速度愈高，表现出的力量愈小。肌肉收缩速度与力量的乘积即称为它的功率（见图 1）

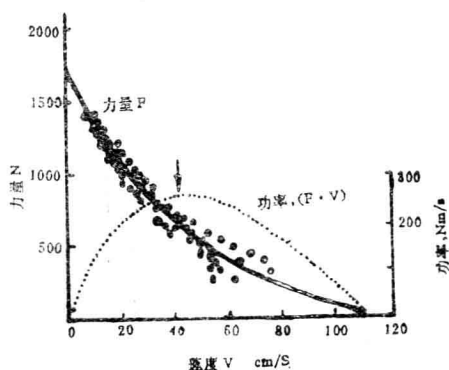


图 1 在包括以最大用力举起 6 种不同负荷的同一实验研究中获得的“力量—速度”关系图：点线—功率的瞬时值。箭头表明与最大功率相符合的速度。

肌肉收缩的“力量—耐力”属性表现为，肌肉收缩的力量（或者功率）愈大，最长的持续时间愈短。这不论对于局部的和区域性的静力性和动力性的工作（图 2），还是对于综合性的工作（图 3）都是正确的。

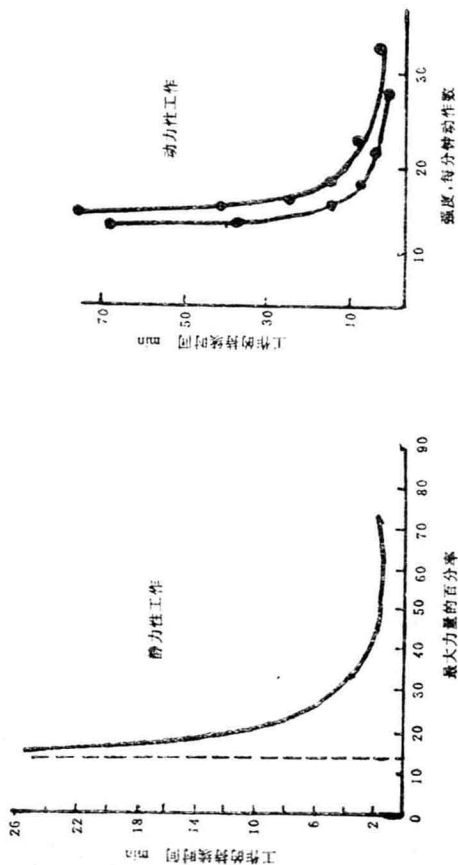


图2 在局部的静力性工作, 收缩速度与工作的最长时间的相 关 关 系 (左 边) 以及在局部的动力性工作, 强度 (动作频率) 与工作的最长时间的关系 (右 边)。

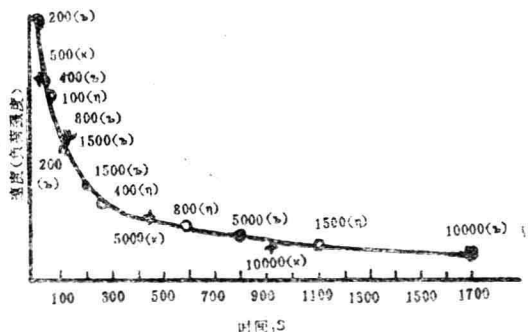


图3 跑(B)、游泳(n)、速度滑冰(K)的速度与最高纪录的时间关系曲线(B、C、法尔费利)。

按照肌肉收缩时表现的力量、功率以及相应的最长持续时间，所有身体练习可以划分为三类：力量、速度—力量（功率）和耐力练习。

凡主要肌肉带有最大的或几乎最大的紧张练习，可认为是力量练习。它表现为静力性或运动速度很小的（带有很大的外部阻力和重量）动力性方式。图1中“速度—力量”曲线的左侧部分相当于力量练习。表明带最大力量的持续时间是按秒计算的，力量是决定力量练习成绩的主要运动素质。

在动力性练习中，凡主要的肌肉同时表现出相当大的力量和收缩速度，即很大的功率的练习称速度—力量（功率）练习。肌肉收缩的最大功率是在肌肉最大活化的条件下达到的。此时，其收缩速度大约为无负荷时最大速度的30%。在“力量—速度”曲线上，速度—力量练习位于中间的位置，达最大速度的50—60%（见图1）。在外部阻力（负荷）下肌肉产生的最大功率相当于其最大（静力性）力量30—50%。具有很大肌肉收缩功率的练习的最长持续时间处在从3—5s到1—2

min的范围内。其持续时间依肌肉收缩功率（负荷）来决定。功率在速度—力量练习中起重要作用。

耐力练习是指凡完成练习时，主要肌肉产生的收缩力量和速度不大，但能维持或重复较长的时间，包括从几分钟到数小时（与肌肉收缩的力量和功率相反）。耐力是这类练习主要的身体素质。

速度练习和速度—力量练习的生理学特征在第三章有详细的阐述，耐力练习的生理学特征在第四章有详细的阐述。

I·1.4 身体练习的能量特征

能量值是身体练习的重要特征。为了确定身体练习的能量值采用两项指标：能量输出功率和总能耗量。

能量输出功率是指在完成这一练习时，单位时间内的能耗量，它常常随物理学单位而改变：瓦特、 kcal/min 、 kJ/min ，也同样随《生理学》的单位而改变：吸氧量（ mlO_2/min ）或梅脱（新陈代谢当量，即在完全安静躺着的条件下，每千克体重每分钟的吸氧量。1梅脱等于 $3.5\text{mlO}_2/\text{kg}\cdot\text{min}^{-1}$ ）。

总能耗量是指在完成整个练习的全部时间内消耗的能量。总能耗量（练习的总能量价值）可以规定为完成练习的时间与平均能量输出功率之积。

赛跑时，跑完所规定的同一距离的总能耗量不取决于移动的速度，问题在于在增加速度（能量输出功率）的情况下，跑完这段距离的时间减少。与此相反，速度减小时时间即增加。所以能量输出功率与时间的乘积，即总耗量不会改变。在通过同一距离时，赛跑比竞走（速度为每小时8公里）的总能量值要高：竞走时每千克体重每千米的平均能耗量女子为0.72千