

简明运动生理学教程

吕新颖摇编著

合肥工业大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

简明运动生理学教程 / 吕新颖编著. — 合肥: 合肥工业大学出版社,
2009.12

陈晔苑 陈冠装 陈源 苑

I 援简… II 鄢吕… III 鄢运动生理—生理学—高等学校—教材 IV 鄢鄢鄢鄢

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 246910 号

简明运动生理学教程

吕新颖编著 责任编辑 陆向军

出版 合肥工业大学出版社	开本 16 开
地址 合肥市屯溪路 1 号	印张 15.5
邮编 230026	字数 350 千字
电话 总编室: 0551-2939311	发行 全国新华书店
发行部: 0551-2939311	印刷 合肥现代印务有限公司
版次 2009 年 12 月第 1 版	网址 中国书店网
印次 2009 年 12 月第 1 次印刷	定价 25.00 元

陈晔苑 陈冠装 陈源 苑 定价: 25.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题, 请与出版社发行部联系调换

目摇摇录

绪摇摇论

第一章摇细胞的基本功能 (总

第一节摇细胞的基本结构和转运功能 (总

第二节摇细胞的兴奋与传导 (总

第二章摇骨骼肌活动的生理基础 (总

第一节摇骨骼肌的收缩 (总

第二节摇骨骼肌的收缩形式及力学分析 (总

第三节摇肌纤维类型与运动能力 (总

第四节摇肌肉中感受器的结构及功能 (总

第五节摇肌肉中结缔组织及功能 (总

第三章摇呼吸 (总

第一节摇肺通气 (总

第二节摇肺换气 (总

第三节摇运动时合理呼吸 (总

第四章摇血液 (总

第一节摇概述 (总

第二节摇血液的组成 (总

第三节摇血液的功能 (总

第四节摇运动对血液的影响 (总

第五章摇血液循环 (总

第一节摇心肌的生理特征 (总

第二节摇心泵功能 (总

第三节摇血管生理 (总

第四节摇心血管活动的调节 (总

第五节摇运动对心血管的影响 (总

第六章 运动中氧的供应与消耗	圆苑
第一节 概述	圆苑
第二节 最大摄氧量 (VO _{2max})	圆苑
第三节 个体乳酸阈 (LT)	圆苑
第七章 物质代谢	圆苑
第一节 消化	圆苑
第二节 吸收	圆苑
第三节 体育运动对消化机能的影响	圆苑
第四节 主要能源物质在体内的分解代谢	圆苑
第五节 代谢尾产物的排泄	圆苑
第八章 能量代谢	圆苑
第一节 人体运动时的能量来源	圆苑
第二节 人体运动时的能量供应	圆苑
第三节 能量代谢的测定原理与方法	圆苑
第四节 影响能量代谢的主要因素	圆苑
第五节 运动时能耗量的计算及其意义	圆苑
第九章 内分泌系统	圆苑
第一节 概述	圆苑
第二节 人体主要激素的作用	圆苑
第三节 人体运动对内分泌机能的影响	圆苑
第十章 感觉和运动的神经控制	圆苑
第一节 感觉	圆苑
第二节 肌肉工作的神经控制	圆苑
第三节 运动时神经系统对人体功能的整合	圆苑
第十一章 运动技能的形成	圆苑
第一节 条件反射	圆苑
第二节 运动技能的形成	圆苑

第十二章 摇运动与免疫机能	①圆苑
第一节 摇免疫系统概述	①圆苑
第二节 摇运动性免疫机能	①圆愿
第三节 摇运动性免疫抑制	①圆源
第十三章 摇运动过程中人体功能变化的规律	①圆愿
第一节 摇赛前状态与准备活动	①圆愿
第二节 摇进入工作状态和稳定状态	①猿员
第三节 摇运动性疲劳	①猿缘
第四节 摇恢复过程	①猿圆
第十四章 摇运动素质的生理基础	①猿圆
第一节 摇力量素质	①猿员
第二节 摇速度素质	①猿苑
第三节 摇耐力素质	①猿猿
第四节 摇灵敏素质	①猿员
第五节 摇柔韧素质	①猿源
第十五章 摇性别、年龄特征与运动	①猿员
第一节 摇儿童少年的解剖生理特点与运动	①猿员
第二节 摇性别的生理学差异与运动能力	①猿苑
第三节 摇衰老与运动	①猿猿
第十六章 摇体育教学训练原则和方法的生理学分析	①猿猿
第一节 摇教学训练原则的生理学分析	①猿猿
第二节 摇运动负荷的生理学分析	①猿圆
第三节 摇训练方法的生理学分析	①猿源
参考文献	①猿猿

前 摇 摇 言

为贯彻落实《中共中央国务院关于深化教育改革全面推进素质教育的决定》精神，教育部制定了《全国普通高等学校体育教育本科专业课程方案》（教体艺〔2002〕10号文件），印发了《全国普通高等学校体育教育本科专业各类主干课程教学指导纲要》（教体艺〔2002〕10号文件）。

《指导纲要》体现了全面推进素质教育、深化教育改革的精神，明确了专业培养目标、课程设置和教学要求、学习范围和内容，是普通高等学校体育教育本科专业课程建设、教学活动的指导性教学文件。

按照教育部“各校从2003年开始执行新的《指导纲要》”要求（教育部办公厅2002年12月16日印发的通知），依据《课程方案》和《指导纲要》指定的学习范围、内容、课时等要求，特编写本教程。该教程紧密结合师范院校学生的身心和认知特点，紧密联系体育运动实际，简单明了，突出了实用性、可读性的特色，与时俱进地反映了本学科的前沿动态。本教材不仅供体育专业的学生使用，对从事运动训练、体育教学、社区体育指导工作的教师、教练也有较高的实用价值。

由于编写时间仓促，不足之处在所难免，恳请同行和广大读者批评指正。

吕新颖

2003年元月 16日

摇摇在文化生活备受大众关注的时代里，体育运动无疑会成为人们关注的焦点。人的潜能有多大？人体运动的能量来自何方？兴奋剂为何有那么大的魔力？怎样才能有效地减肥？怎样锻炼才能只长力量而不长体重？如何正确理解“生命在于运动”、“流水不腐，户枢不蠹”等人们对生命活动现象及发展的精辟见解的内涵？如何使自己的体育锻炼既有效又不产生副作用？这一切都是人们较感兴趣的话题，也是需要运动生理学回答的问题。

绪摇摇论

运动生理学是在人体生理学的基础上发展起来的一门应用性学科，是体育科学中一门重要的应用基础理论学科，它和运动解剖学、体育保健学等共同构建了体育专业教学中的有关人体科学的理论体系，是体育专业教学中的一门必修课程。

一、运动生理学的研究对象

运动生理学是人体生理学的一个分支，人体生理学是研究人体机能活动规律的科学。

“人体机能”是指人体整体及其各组成系统、器官所表现出来的生命活动现象。如：肌肉活动、呼吸、循环、消化、排泄等。

运动生理学则是研究在体育活动的影响下人体的这些机能变化规律的科学。一般说来，运动生理学的研究是从人体整体、器

官和系统、细胞和分子三个不同的水平进行的。

一、整体水平研究

整体水平研究是指在整体水平上研究人体在一定的环境条件下运动时，人体各系统、器官之间的相互关系以及人体各系统、器官对运动的反应和适应过程。如：研究人体运动时肌肉工作能力、心血管系统的机能、呼吸系统的机能、内分泌机能物质和能量代谢等的变化以及它们对运动的适应程度等。

二、器官、系统水平研究

人体运动时整体机能的表现，是建立在各器官、系统机能活动密切协调配合的基础之上。因此，探讨人体运动时的机能变化，必须对各器官系统的机能进行研究。如：运动时心血管系统的机能会发生较大的变化，表现为心率、血压、心输出量升高。对引起这些指标升高的因素和变化特点的研究，就是器官、系统水平研究。

三、细胞、分子水平研究

器官是由一些具有特殊功能的细胞群所组成，各器官、系统的生理机能取决于这些具有特殊功能的细胞群，而每个细胞的生理功能又依赖于构成细胞的生物分子。细胞、分子水平的研究主要是研究运动时细胞内各亚微结构的机能以及生物分子的特殊理化变化过程。有关运动时骨骼肌超微结构变化，收缩蛋白的结构和代谢水平变化，线粒体、生物膜、酶系统等机能的变化，就属于细胞、分子水平的研究。

上述三个层次的研究既有区别，又紧密相关。细胞和分子水平的研究，有助于揭示生命现象的最本质的基本规律，并对理解其他层次的生理活动过程具有普遍的指导意义；器官和系统水平的研究，有助于把复杂的整体生命活动化整为零地分别进行研究，从而更加准确、方便地把握机体的生命活动规律；对这两个层次的研究和分析，都是为了能更准确地理解整体活动规律。但

是，整体生理活动规律并不等于组成人体各器官、组织、细胞生理功能的简单总和。所以，要全面地理解某一生理机能，必须在三个层面的基础上进行分析、综合。

二、运动生理学的研究方法

运动生理学的各种理论和观点绝大部分是从实验中获得、总结出来的，并不断在实践中受到检验。所以，实验研究法是运动生理学研究的基本方法。通过人工创造的条件，使一定的生理现象按所要求的空间和时间出现，借以观察和分析机能活动变化的过程及其因果关系。一些实验能在对人体无损伤的条件下进行，而另一些实验则需要给某些组织造成一定损伤，或必须摘取少量标本进行离体观察。因此，有相当一部分实验只能利用动物来进行。例如：从动物身上摘取局部组织、器官进行离体观察；将动物去势造成雄性激素缺乏，来研究雄性激素对运动能力的影响等。虽然人类和动物在许多特殊机能上有质的不同，但种属与人类相近的动物其基本机能还是与人类一致的。为了阐明某些在人体难以观察到的生理过程和机理，在正确估计人与动物的区别的前提下，即可采取动物实验的方法。

由于科学技术的发展，目前的实验手段有了很大的改进，为本学科的研究创造了良好的条件。利用各种遥测、换能、多导记录等技术，可以在不影响人体运动状态的条件下，获得更真实的实验数据，使整体水平的研究有了新的提高。而肌肉活检、电镜观察、微电极、生物免疫、生物化学、分子生物学等技术已把实验者的视野带进了细胞分子水平的微观世界。

三、运动生理学的目的、任务

运动生理学是通过专门对人体短期运动反应和长期运动的适应规律的研究，为体育教学和运动训练提供生理科学依据，对运

动实践有着重要的指导意义。其具体的目的是：

①在正确认识人体机能活动基本规律的基础上，进一步探讨在体育运动影响下人体机能产生适应性变化的生物学规律及其生理机制；

②掌握体育教学和运动训练的一些基本生理原理，特别是不同年龄、性别特征与体育运动的关系，为科学地进行体育教学和运动训练提供生理依据；

③初步掌握评定人体机能能力的基本原则和依据人体机能的变化特点从事体育教学和运动训练的基本原理。

四、学习运动生理学的基本观点和方法

①树立整体观念

人体是作为一个完整的统一体而存在的，各种生理活动都是完整统一体中的组成部分，构成人体的各系统、器官、组织和细胞有其不同的活动规律，但它们之间的活动又是相互联系、相互制约、有机配合、协调一致的，以服从于人体作为整体适应环境变化的需要。例如：各器官、系统的生理活动都是围绕着整体的新陈代谢过程而展开的；血液循环沟通着呼吸、消化、排泄等生理活动；神经、体液等调控活动使机体达到完整的统一，以适应内外环境的变化。如果学习中只注重人体局部的功能变化，而忽略适应环境的人体整体功能的效应就会走入“只见树木，不见森林”的误区。

②服从体育专业的需要

学习运动生理学应具有体育专业的意识，即学习生理学的每一点知识，都要联系运动实际。要主动用它来解释运动人体的活动规律，用它指导运动实践，这将更有利于生理知识的掌握和运用，同时也为深入学习专业课程奠定良好的基础。脱离专业目标学习运动生理学，很可能会导致学非所用、理论脱离实践的后果。

猿注重学科渗透

人体机能和形态是密切联系的,因此,学习本学科不但要从人体生理学入手,还要掌握人体解剖学的基本知识。为了进一步阐明某些生理现象的产生机理,也要学好生物化学这一基础理论。由于运动生理学的研究范围限于人体在正常状态下的机能活动,所以它又需要与各种病理现象相鉴别,并为运动参加者的机能评定、医务监督等体育保健学的内容提供理论依据。各学科的知识内容相互联系,相互促进。关注运动生理学与其他学科的联系,将有助于开拓思路,加深对生理知识的理解,也有利于将所学知识融会贯通,这样才能对体育运动实践做出更大的贡献。

源结构与功能的统一

人体的形态结构是生理功能的物质基础,而人体的各种生理功能则是形态结构的运动形式,一定的形态结构决定一定的功能。在运动实践中,功能的变化能逐渐引起形态结构的变化;形态结构的改变又可影响功能活动,二者相辅相成。因此,学习运动生理学要注意结构与功能之间的相互联系和相互作用。

缘动态平衡观点

与运动解剖学不同,运动生理学作为功能学科重在研究生命活动,而人的生命活动是在适应环境的过程中不断变化的,这种变化在生理范围内是一种动态的平衡。其目的是维持体内环境的相对稳定。因此,在学习中要注意掌握人体正常的功能活动的周期性(如心动周期)、双重性(交感、副交感神经的双重支配作用)、双向性(兴奋与抑制)等活动规律,切忌以静态的观点来理解运动生理学内容。

五、生命活动的基本表现

生物体具有生命活动,其生命活动现象至少包括新陈代谢、兴奋性、适应性和生殖等几个方面的基本特征。

二、新陈代谢

任何生物体总是在不断地更新自我，破坏和清除已衰老的结构，重建新的结构。这种生物体在不断地与周围环境进行物质与能量交换中实现自我更新的过程，称之为新陈代谢。新陈代谢是生命活动的最基本的特征，它一旦停止，生命活动就会结束。

在新陈代谢过程中，分解自身的结构称为分解代谢，合成和重建自身的结构称为合成代谢。体内一切分解、合成、转化、利用等活动都是在水溶液中进行的，而且绝大多数反应都是由酶催化完成的生物化学反应。生物体一方面不断地利用从外界环境中摄取来的营养物质合成为自身的组成成分和能源物质，另一方面，人体又不断地将已衰老的组成成分和能源物质进行分解，放出能量以供合成体内新物质和完成各种生理功能，并把分解产物排放到外部环境中。生物体的新陈代谢实际上是一种高级的、复杂的物质运动形式，生命活动就是这种运动形式的表现。

三、兴奋性

兴奋性是一切生物体所具有的特性，是生物体生存的必要条件。生物体生活在一定的外界环境中，当环境发生变化时，细胞、组织或机体内部的新陈代谢及外部的表现都将发生相应的变化，这种变化称为反应。各种能引起细胞、组织或机体发生反应的环境变化称为刺激。生物体对刺激发生反应的能力称为兴奋性。

随着电生理技术的发展，实验中发现，机体的一些组织，当受到刺激后能产生某种特殊的生物电反应，如神经、肌肉、腺体等，受刺激后能产生的生物电反应称为兴奋。具有对刺激产生生物电反应的能力称为兴奋性。刺激有强弱或大小的差别，凡能引起某种组织产生兴奋的最弱（最小）刺激强度称为阈刺激。组织对刺激的反应能力大小也有不同，也就是组织的兴奋性高低存在差异。如果组织对很小、很弱的刺激就能产生兴奋，表明它的

兴奋性很高，反之兴奋性就低。

可兴奋组织有两种基本的生理活动过程：由相对静止状态转变为活动状态，或兴奋性由弱变强的活动状态，为兴奋活动；由活动状态转变为相对静止状态，或兴奋性由强变弱的活动状态，为抑制活动。人体各种生理功能活动，既有兴奋活动也有抑制活动，两者既对抗又协调，并可相互转化。因此，兴奋和抑制是对立统一的生理活动过程。

适应性

生物体长期生存在某一特定的生活环境中，在客观环境的影响下可以逐渐形成一种与环境相贴近的、适合自身生存的反应模式。亦即，当生物体长期处在某种环境变化时，机体会不断调整自身各部分间的关系，发生相应的机能变化，使自身和环境间经常保持相对稳定。生物体所具有的这种适应环境的能力，称之为适应性。例如：长期居住在高原地区的居民，其血液中的红细胞数量远远超过平原地区的居民。这种适应性反应对高原居民是十分必要的，因为血液中红细胞数量的增多，可大大提高血液运输氧气的能力，从而有效地克服了高原缺氧给人体带来的不良影响，创造了适应客观环境而生存的条件。再如，运动员经过长期的力量训练可使肌肉发达；长期的耐力训练可使心肺功能得以改善等，这些都是人体对环境变化产生适应的结果。

生殖

生物体的生命是有限的，必须通过生殖过程进行自我复制和繁殖，才能使生命过程得以延续。生物体生长发育到一定阶段后，能够产生与自己相似的子代个体，这种功能称为生殖。单细胞生物通过一个亲代细胞分裂为两个子细胞而完成生殖过程。高等动物则由雄性与雌性的生殖细胞结合以生成子代个体才能完成生殖过程。近年来，由于生物技术的发展，可以通过克隆技术使生命得以复制，使传统的生殖理论和观念受到了挑战。

摇摇思考题

愿运动生理学的研究对象是什么？

愿体育专业的学生为什么要学习运动生理学？

愿简述对运动生理学研究的三个不同层次。

愿名词解释：

新陈代谢摇摇兴奋性摇摇适应性摇摇生殖摇摇人体机能

摇摇人体的各种功能都是由细胞活动引起的。组成人体的数以亿计个细胞并不是简单地堆砌在一起的，相互间存在着复杂的联系，使人体成为一个有机的整体。那么，这种联系是如何实现的？又是如何发挥其生理作用的？为什么人体不仅能够协调好自身作为一个有机整体的正常运作，还能对外界的刺激做出迅速的反应？让我们走进这小小的细胞内部，了解其神奇的信息产生、传递和作用的机理。

第一章细胞的基本功能

细胞是构成人体的基本结构单位。体内所有的生理功能和生化反应，都是在细胞及其产物（如细胞间隙中的胶原蛋白和蛋白聚糖）的物质基础上进行的。一百多年前，光学显微镜的发明促成了细胞的发现。此后对细胞结构和功能的研究，经历了细胞水平、亚细胞水平和分子水平等具有时代特征的研究层次，从细胞这个小小的单位里揭示出众多生命现象的机制。可以认为，离开了对细胞及构成细胞的各种细胞器的分子组成和功能的认识，要阐明人体运动的生命活动机理，将是不可能的。因此，学习运动生理学必须从观察细胞的基本结构和功能等特点入手。

第一节 细胞的基本结构和转运功能

一、细胞基本结构

细胞是生命活动的基本单位，细胞由细胞膜、细胞质和细胞核三部分组成（详见解剖学）。

细胞膜

细胞膜作为细胞界膜，厚约 $7\sim 10\text{nm}$ ，由脂质双分子层作为基架构成，其中镶嵌着许多具有不同结构和功能的蛋白质，同时结合有糖等其他成分（图 1-1），具有一定的流动性。

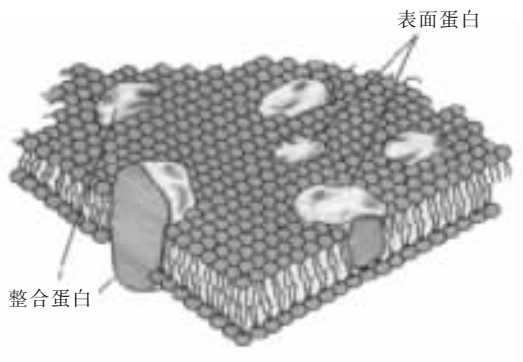


图 1-1 细胞膜结构模式图

细胞质

有可分辨的细胞器（内质网、线粒体、高尔基体、溶酶体、核糖体等）和胶状物质称为细胞质。

细胞核

它是细胞遗传与代谢的调控中心，主要由核被膜、染色质、核仁及核骨架组成。细胞核是遗传信息的储存场所，在这里进行

基因复制、转录和初产品的加工过程，从而控制着细胞的遗传与代谢活动。

二、细胞膜的物质转运功能

细胞与其生活的内环境（具体说是组织液）之间，隔有细胞膜。细胞膜使细胞与周围环境保持相对独立，造成相对稳定的内环境，并通过细胞膜与周围环境进行物质交换和信号传导等。细胞膜常见的物质转运形式有如下几种：

单纯扩散

是一种不耗能量的被动的物理过程，是分子或离子从浓度高的一侧通过细胞膜向浓度低的一侧运动。由于细胞膜基架是一脂质膜，因而只有能溶于脂质的物质分子，才有可能由膜的高浓度的一侧向低浓度一侧运动。人体内依靠单纯扩散而通过细胞膜的物质是较少的，主要有 O_2 和 CO_2 等气体分子。

易化扩散

是指一些不溶于脂质、体积过大的物质或亲水性的物质，如钾、钠离子、葡萄糖、氨基酸等分子量较小的物质，在细胞膜蛋白的帮助下，由膜的高浓度一侧向低浓度一侧扩散或转运过程，这一过程是不耗能的。一般认为膜蛋白用至少以可区分的两种方式把这些物质转运出入细胞。一种是以“载体”为中介的易化扩散，即细胞膜中存在有各种载体如同运输的小船，它首先在膜的一侧与某种特异性物质结合成复合体，然后从膜的一侧运动或旋转到膜的另一侧，再与此种物质解离，从而将此物质转运过细胞膜（如葡萄糖通过一般细胞膜）。载体扩散具有高度的特异性，只有某种特异性的化学结构物质才容易通过，因此，一定的载体只能转运一定的物质。

另一种是以“通道”为中介的易化扩散，它们常与如 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 这些离子由膜的高浓度一侧向低浓度一侧的移动有

关。所谓通道是指细胞膜中一些贯穿膜内、外的嵌入蛋白质，它好象一插入细胞双磷脂分子层中的管道，允许某一种离子或某一类物质沿浓度梯度扩散通过，故称做通道蛋白质或简称通道。由于蛋白质的化学构型易于改变，故通道蛋白质可在某些化学物质作用下或在膜电位改变的情况下改变构型，而使其通道开放或关闭，从而改变膜对某种物质的通透性。由于构型变化极为迅速，通道可以在数毫秒或数十毫秒之间的极短时间内形成，而后又迅速关闭，使膜可迅速改变该物质的通过量。

主动转运

是被称做“泵”的膜蛋白质将某种物质逆浓度梯度的转运过程，即将物质由低浓度一侧通过细胞膜主动转运到高浓度一侧的过程。这是一种消耗能量的过程。犹如水泵消耗电能，克服水位差，将水从低处泵向高处一样。如细胞内氨基酸浓度是血液中的 $\frac{1}{10}$ 倍，就是主动转运的结果。

人体细胞中存在着各种不同功能的“泵”，但在细胞的主动转运中最普遍的是“钾—钠泵”（简称钠泵）对钾、钠离子的主动转运。人和动物的各种细胞的细胞内、外，虽只有一膜之隔，但膜内外钾、钠离子浓度差别却很大。正常时，膜内 K^+ 浓度约为膜外的 $\frac{1}{10}$ 倍，膜外的 Na^+ 浓度约为膜内的 $\frac{1}{10}$ 倍。现已知道，这种浓度差的形成和保持，是靠细胞膜上存在的“钠泵”对 Na^+ 、 K^+ 主动转运来实现的。这种浓度差的保持，则是细胞得以产生兴奋的物质基础（见后述）。钠泵又称为“ Na^+ — K^+ 依赖式 ATP 酶”。人体消耗的总能量中，约有 $\frac{1}{10}$ 的能量消耗在钠泵的转运上（不同细胞这一比例不同）。除钠泵外，人体中还有许多重要的泵，如骨骼肌和心肌纤维内部的钙泵，甲状腺细胞上的碘泵等。

出胞和入胞

上面叙述的三种物质转运形式，都是物质以离子或分子的形式

式通过细胞膜的。对于某些大分子物质或物质团块，还可通过膜的更为复杂的结构和功能的变化，使之进出细胞，可分别称之为出胞和入胞。出胞是指这类物质从细胞内排出的过程，如外分泌腺分泌某些酶原颗粒，内分泌细胞分泌激素，以及神经末梢释放神经递质，都是出胞的表现形式。当进行出胞时，细胞内含有上述分泌物的囊泡向细胞膜移动，最后与细胞膜接触并融合，并在融合处出现裂口，囊泡一次排出胞外。

入胞和出胞相反，指细胞外某些物质团块（如侵入体内的细菌、病毒或血浆中的大分子蛋白质等）进入细胞的过程。此时若进入物为固体物，称为吞噬，若进入物为液体，则称为吞饮。吞噬时，具有吞噬功能的细胞（如白细胞）先伸出伪足将异物包绕，然后发生细胞膜的融合和断裂，异物和包绕它的那部分细胞膜整个地进入胞浆，再由细胞中的溶酶体内的各种水解酶对它进行消化分解（即细胞免疫）。

第二节细胞的兴奋与传导

一、兴奋和兴奋产生的条件

1. 兴奋

当机体生活的环境发生变化时，细胞、组织或机体的内部代谢和外部表现都将发生相应的改变，这种改变称为反应。环境中各种能引起机体发生反应的变化称为刺激。实验发现，当各种组织受到刺激时，虽然其外部反应表现可能不同，如肌细胞表现机械收缩、神经细胞的传导、腺细胞表现分泌活动等，但它们都有一个共同的最先出现的反应，这就是在受到刺激处的细胞膜两侧，产生一次电位变化，称作动作电位。各种细胞所出现的上述特有的外部表现都是由动作电位进一步触发引起

的。因此，在生理学中，将组织受刺激后产生动作电位的过程或动作电位本身称为兴奋。

图 1-1 刺激引起神经兴奋的条件

实验表明，任何刺激要引起组织兴奋，必须具备三个条件：即一定的强度、一定的持续时间以及一定的强度—时间变化率。这三个条件的参数不是固定不变的，并可相互影响，如果其中一个或两个的值变化了，其余的值也会发生相应的改变。在生理学实验中，常用电刺激作为人工刺激。

（员 强度

要使组织产生兴奋，刺激必须达到一定的强度。引起组织产生兴奋的最小刺激强度，称为阈刺激。强度小于阈刺激的刺激，称为阈下刺激；强度大于阈刺激的刺激，称为阈上刺激。阈刺激强度的大小，可以近似地反映它们兴奋性的高低，即引起组织兴奋所需的阈值愈小，说明该组织兴奋性愈高，反之，阈值愈大，说明兴奋性愈低。

（圆 时间

无论刺激强度多大，要使可兴奋组织兴奋，刺激必须持续足够的时间。在一定范围内，刺激强度越大，需要刺激的作用时间就越短；刺激强度越小，需要刺激的作用时间就越长。但当刺激的强度小到一定程度时，即使延长刺激的作用时间也不能引起兴奋。把这种能引起兴奋所需的最小刺激强度称为“基强度”。用基强度刺激组织，引起其兴奋所需时间太长，用两倍于基强度的刺激，引起兴奋所需的最短时间，称为“时值”。时值可用来衡量组织兴奋性的指标（图 1-1 圆）。

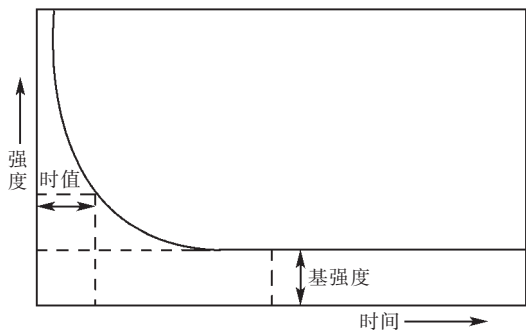


图 1-1 可兴奋细胞的强度-时间曲线

③ 强度变化率

即刺激强度由零达到阈强度的速率。立即达到阈强度，可引起兴奋；缓慢升高达到阈强度，不能引起兴奋。后者可能是组织对缓慢增加的刺激产生了一定适应的结果。

二、组织兴奋性的变化

组织受到一次刺激而发生兴奋后的一个较短时期内，其兴奋性会发生一系列变化。紧接在兴奋之后，其兴奋性立即降低至零，此时无论多强的刺激都不能引起反应，故称绝对不应期。继而出现兴奋性逐渐恢复的相对不应期，在此期内比正常阈值较强的刺激可引起其兴奋。随后兴奋性继续上升，并超出正常兴奋性水平，称超常期。然后兴奋又向降低方向发展，出现一个持续时间较长的低常期，最后，兴奋性恢复正常。兴奋性的这一系列变化发生在不到十分之一秒的短时间内。不同组织以上各期的持续时间亦不相同。

绝对不应期的存在使兴奋过程不致融合，从而使每次相继的兴奋之间必定有一个时间间隔，兴奋的发生和传导也必然是脉冲式的，因而一般把在神经上传播的兴奋称为神经冲动或简称冲动。不应期的长短还决定组织发生兴奋或冲动的最高频率。例

如，哺乳动物神经的绝对不应期一般约为 1ms 因此，它每秒最多只能发放或传导 1000 次冲动。但实际上，神经纤维在体内传导、冲动频率远远低于理论上能达到的值。

三、兴奋的电学本质

前面提到，生物电现象是生物机体进行功能活动时显示出来的电现象，它在生物界普遍存在。细胞的生物电现象主要表现为安静时膜的静息电位和受刺激时产生的动作电位。

1. 静息电位

静息电位是指细胞未受到刺激时存在于细胞膜内、外两侧的电位差，即膜内为负、膜外为正。由于这一电位差存在于细胞膜两侧的，故称跨膜静息电位，简称为静息电位或膜电位。只要细胞未接受外界刺激，静息电位就稳定在某一固定水平。细胞安静时，膜内、外电位稳定于某一数值的这种状态，也称做极化状态。

表 1 哺乳动物神经轴突内外的离子浓度 (mmol/L)

	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻
细胞内	10	140	4
细胞外	140	4	10
膜内外浓度比	14:1	1:10	4:1
离子流动方向	膜内流向膜外	膜外流向膜内	膜外流向膜内

静息电位的成因是由于细胞膜内外 Na⁺、K⁺ 的分布不均匀（见表 1 和细胞膜具有选择通透性。在静息状态下，由于膜内的 Na⁺ 浓度比膜外的大 14:1 倍，膜内的 K⁺ 浓度比膜外的小 10:1 倍。此浓度梯度驱使 Na⁺ 顺浓度梯度向膜外扩散，K⁺ 顺浓度梯度向膜内扩散；另一方面，由于细胞膜对 Na⁺ 的通透性要比对 K⁺ 的通透性大 1:10 左右，故安静时，细胞膜对 Na⁺ 有一定的通透性（虽然很低），而对 K⁺ 基本是不通透，从而使

少量的 K^+ 通过细胞膜扩散到膜外，而 Na^+ 则不能扩散到膜内。同时，由于细胞内负离子大多是大分子的有机磷酸离子和带负电荷的蛋白质，不能随 K^+ 一道通过细胞膜，而留在膜内，这样一来，细胞膜外侧就有较多正离子，细胞膜内侧则有较多负离子，因而使膜外电位变成正，膜内电位变成负，膜内外产生了外正内负的跨膜电位差。可见这种跨膜电位差是由于膜内的 K^+ 向膜外扩散而形成的。一旦当由 K^+ 外流形成的这种内负外正的电位差即电位梯度出现后，它就成为一种阻止 K^+ 继续向外扩散的力量。因之，当由于浓度梯度而使 K^+ 向外扩散的力量和电位梯度阻止 K^+ 向外扩散的力量相等，即两种力量达到平衡时， K^+ 就不再继续向外扩散，膜两侧的电位差也就稳定于某一固定数值，这就是静息电位。由于此电位差是 K^+ 外流与阻止 K^+ 继续向外扩散的力量相平衡造成的，所以，也可称静息电位为“ K^+ 的平衡电位”（并不意味着膜两侧浓度平衡，此时膜内 K^+ 浓度仍远大于膜外）。在实验室里测得细胞内外的电位情况如图 1-1 和 1-2 所示。

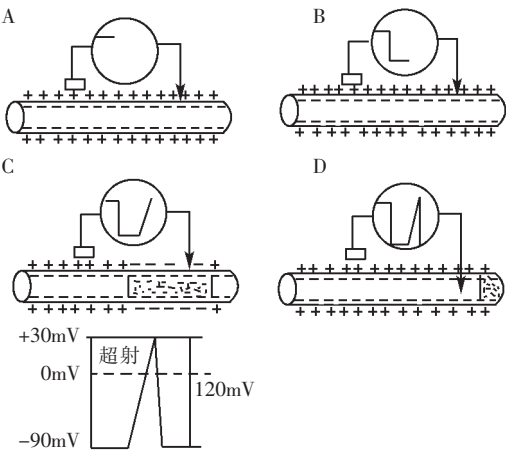


图 1-1 静息电位和动作电位

各种动物细胞都有外正内负的静息电位，但由于各类细胞膜内外 K^+ 浓度比值或膜对 K^+ 的通透性不同，因而其静息电位值也有所不同。例如，哺乳动物的心肌、骨骼肌和神经细胞的静息电位为 -70mV ，平滑肌为 -50mV 。

动作电位

细胞兴奋时，细胞膜在静息电位基础上，发生一次迅速短暂的电位变化，即静息电位减弱、消失为零，并正负倒转。这种电位波动可沿着细胞膜向周围传播，使整个细胞膜都经历一次这样的电位倒转变化，这种电位波动称为动作电位（图 1-1 猿悦和图 1-2 猿翔）。

动作电位的成因，概括地说：是在刺激的作用下，细胞膜保持的极化状态逐步被消除化，称为除极化；当除极化达到临界水平时，即膜电位下降到 -50mV 水平时，就触发了动作电位，这个能触发动作电位的膜电位值叫阈电位。当膜电位降低到阈电位水平时，细胞膜的通透性突然改变，膜对 Na^+ 的通透性突然增大约 10 倍，大大超过对 K^+ 的通透性。 Na^+ 由于浓度梯度的推动和膜内负离子的吸引而迅速内流，使膜内正电荷迅速增加，从而引起两侧电位由安静时的内负外正倒转为内正外负。但膜对 Na^+ 的通透性增加只是暂时的，当除极化达到顶点时，即 Na^+ 内流所形成的膜内正电位足以阻止 Na^+ 不再流入，膜对 Na^+ 的通透性回降，而对 K^+ 的通透性增高，这时膜又几乎只对 K^+ 有通透性，于是膜内的 K^+ 由于高浓度和正电位的推动而迅速外流，使膜内外电位又回到原来的内负外正状态。由此可见，动作电位是膜外 Na^+ 迅速内流的结果，但当 Na^+ 内流所形成的膜内正电位所产生的电位梯度与推动 Na^+ 内流的浓度梯度相平衡时， Na^+ 就停止继续流入，除极化达到顶点，这时膜两侧的电位差就是动作电位的高度。由于此电位差是 Na^+ 内流与阻止 Na^+ 继续向内扩散的力量相平衡造成的，所以，也可称动作电位为“ Na^+ 的

平衡电位”。

根据动作电位成因的分析，可以说明各类可兴奋细胞动作电位的某些共同特性，如不论使用何种性质的刺激，只要达到一定强度，它们在同一细胞所引起的动作电位的波形和变化过程都是一样的，并且在刺激强度超过阈刺激以后，即使再增加刺激强度，也不能使动作电位的高度进一步加大，这个现象称做“全或无”现象。这是因为，动作电位只是由阈电位所触发，至于动作电位所能达到的大小，主要决定于当时膜内外 Na^+ 、 K^+ 的浓度比而不决定于刺激的强度。

神经的局部兴奋

刺激强度小于阈刺激，虽然不引起可传播的动作电位，但并非对神经细胞不产生任何影响，实验证明，阈下刺激可使受刺激局部对 Na^+ 的通透性轻度增加，造成原有的静息电位的轻度减小，并且只局限在受刺激的局部范围内，这种电位变化称为局部兴奋。局部兴奋的生理意义在于它可以总和。由于局部兴奋不是“全或无”式的，而是随刺激强度的增加而增强，且没有不应期，故在第一个阈下刺激所引起的局部兴奋尚未消失以前，紧接着再给予另一个刺激，两个刺激所引起的局部兴奋就有可能叠加起来，使膜电位降低到阈电位水平，而触发可传导的动作电位，称时间总和。同样，相邻的细胞膜同时受到两个阈下刺激时，这两个刺激所引起的局部兴奋也可以总和起来，称空间总和。时间总和多见于感受器、神经肌肉接头等处，空间总和多见于中枢突触部位，导致一个神经细胞产生兴奋或抑制效应。

四、动作电位的传播

动作电位的特征之一就是它的可传导性，即细胞膜任何一处所产生的动作电位可传播到整个细胞。其机制是：当膜某一点受到刺激而产生动作电位时，该点的膜电位即倒转为内正外负，而

邻接的未兴奋部位因仍处于静息状态（膜电位为内负外正），又由于细胞内液和细胞外液都是导电的，于是兴奋部位与未兴奋部位之间就产生局部电流（图 1-9）。这一局部电流构成了对未兴奋部位的刺激，使之产生兴奋，就像外加刺激在最初的受刺激部分引起兴奋一样。这个过程在膜上连续进行下去，表现为动作电位在不断向周围传播，直至传遍整个细胞。在传播中，它的前部不断地向前传导，它的后部又不断复极化，使局部电流波及的长度不变，如在神经细胞胞体上的传播。

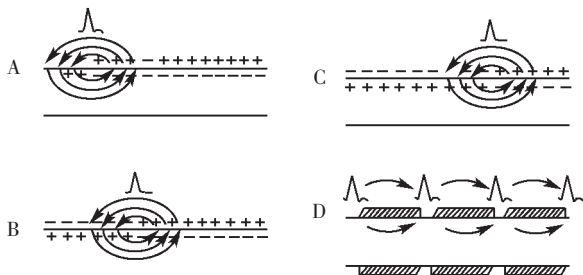


图 1-9 动作电位传导示意图

图 1-9 悦：动作电位在无髓纤维上以局部电流的方式进行传导；

图 1-9 阅：动作电位在有髓纤维上呈跳跃式传导。

由于兴奋本身就是动作电位，所以兴奋在同一细胞上的传导，也就是动作电位的传播。正如超过阈值的强度不影响它所引起的动作电位的大小一样，动作电位在单一细胞上的传导距离和传导速度也不取决于最初刺激的强度，动作电位的大小也不会因传导距离的增大而有所减弱。此外，如刺激作用于细胞的中段，由此而产生的动作电位可同时向两端传导，这是由于局部电流可以向两侧传导的缘故。

在神经纤维上传导的兴奋或动作电位，称做神经冲动或简称冲动。在有髓神经纤维上兴奋传布只能在两个郎飞氏结间形成局部电

流（图 1-10），即跳跃式传导，从而大大提高了传导速度。在完整的反射弧中，兴奋只能沿单一方向传导，这是由于反射弧各环节衔接处，兴奋只能沿单一方向传递而不能逆转。因兴奋在反射弧各衔接处的传递，起作用的除锋电位外，还有更复杂的化学过程参与。

思考题

名词解释：

兴奋和兴奋性 阈值 阈电位 局部兴奋

刺激引起组织兴奋，必须具备哪些条件？

简述动作电位和动作电位的成因？

为什么有髓纤维比无髓纤维传导速度快？

“细讲促练”教学法

在体育教学中，“精讲多练”、“课的强度、密度”一直被看作是衡量体育教师教学水平的两把尺子，它有效地限制了教师讲授时间，保证了运动量。但如果一味按照这两个要求来做，就会使学生陷于被动，课堂气氛也变得比较沉闷，这样很难达到预计的教学效果。

笔者在教学中冲破“精讲多练”、“强度、密度”的束缚，除向学生“精”讲动作要领、做法及要求外，增讲“为什么学”和“为什么要这样学”的内容。使学生知其然，又知其所以然，启发和促使他们主动地进行体育锻炼。笔者称此为“细讲促练”教学法。主要做法是：

通过增加动作讲解部分，细讲为什么要这样做。体育是一门综合学科，所涉及的领域较为广泛，可以说体育课上所讲授的任何动作都有可以依据的科学原理，如：走和跑离不开速度和加速度，投掷包含着动力学的原理，跳跃动作有作用力与反作用力的辩证关系等等……。虽然这些理论知识学生已在文化课的学习中掌握了，但要知其所以然，还要靠体育教师深入浅出地揭示出来。这样的“细讲”虽然多占了身体练习时间，它却极大地激发学生的求知欲，提高了学习兴趣，使他们更积极地投入到课堂，甚至课下的体育锻炼中，使体育课达到了事半功倍的效果。

通过增加理论课时，细讲一些体育理论及科学锻炼身体的常识。要有效地增强学生的体质，靠每周有限的体育课时是远不够的，主要还是靠学生课余时间的主动锻炼。为了激发学生锻炼身体的自觉性，我们舍去了部分室外身体练习课，增加了理论课时。在理论课中由浅入深地向学生讲述“体育锻炼对各器官、系统的良好影响”、“各项运动的锻炼价值”、“体育与智力的关系”、“我国与发达国家青少年体质的比较”、“体育养生”、“体育保健”、“体育欣赏”等内容。使学生明确了体育锻炼对身体和学习的影响，体育锻炼生活化和社会化的深远意义，提高了他们的自我保健意识。这些理论不仅可激励他们在体育课上学习，而且还可使学生在课余甚至毕业后仍能自觉地利用所学的知识去锻炼身体。此外，学生体质的增强必须以科学理论作指导才能起到良好的效果。因此，我们通过理论课对一些科学健身常识进行讲述。如：准备活动与整理活动的生理作用，运动中“极点”与“重力性休克”的成因及克服方法等，指导学生进行科学锻炼。实践证明，这种增多理论课时的“细讲”做法不仅没因舍去部分室外课而影响身体练习，相反，体育课的出勤率明显提高，更重要的是参加课余锻炼的学生日益增多，从而弥补了每周体育课时少的不足。

综上所述，“细讲促练”是一种以科学理论促进体育教学的方法，是一个提高学生学习积极性的方法。但是，“细讲”如运用不当不仅不能促使“多练”，反而会引起“少练”。因此，教学中还应注意以下几点：

要了解学生。要充分了解所教学生文化课的知识水平，以便从学生实际出发，有针对性地确定“细讲”的内容和深度。

要钻研教材。课前应多花时间“吃透”教材，以便将空洞的理论通俗化，提高学生的学习兴趣。备课时，还应从所授动作的形式、技术难点及易犯错误出发，找出教材的内在规律和科学原理，以便有的放矢地引导。

语言要深入浅出，突出重点。为了提高讲述的实效性，应及时地观察学生的反应，应在关键性问题上“细讲”，不可长篇大论，面面俱到，冲淡了学生的学习兴趣。

要有明确的目的。“细讲”是为实现体育教学中心任务服务的，目的是为了促进学生“多练”，让他们知其所以然，并不是为了将应有的理论都“抖露”出来。因此，讲述要适量、适时。

摇摇骨骼肌是人体运动的动力器官。通过其收缩和舒张，牵拉骨杠杆，完成各种运动。在这一缩一舒的过程中，其内部进行着能量的转换、移动和电传导等复杂而奇妙的变化。本章将揭示骨骼肌内部变化的奥秘，有助于了解骨骼肌在运动中是如何把你送得更高、更快、更远。

第二章摇骨骼肌活动的生理基础

骨骼肌是体内最多的组织，约占体重的 源圆豫，在骨和关节的配合下，通过骨骼肌的收缩和舒张，完成各种躯体运动。肌肉的运动也是实现思想文化交流的工具，即语言、文字和感情的表达都需要通过肌肉活动才能实现。

第一节摇骨骼肌的收缩

在完整的机体内，肌肉的活动是由神经冲动引起的，即来自中枢神经系统的神经冲动，沿运动神经传递到所支配的肌纤维，从而引起肌肉收缩。

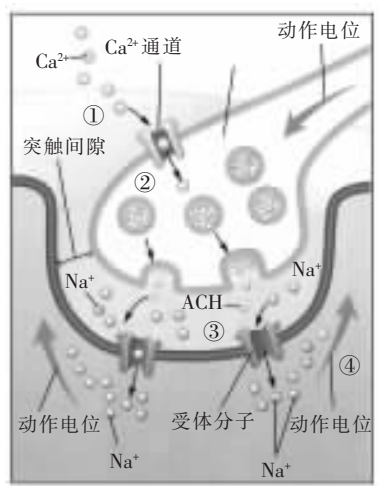
一、兴奋的传递及肌肉的电现象

圆兴奋在神经——骨骼肌接头处的传递

(员 神经——肌肉接头的结构

运动神经纤维到达神经末梢在接近肌纤维处时先失去髓鞘，以裸露的轴突末梢嵌入到肌细胞膜上称作终板的膜凹陷中，但轴

突末梢的膜和终板膜并不直接接触，而是充满了细胞外液的接头间隙隔开，其中尚有成分不明的基质。终板膜的厚度大于肌膜，向细胞内凹入，形成许多皱褶，以增大其接触面。在轴突末梢的轴浆中，除有许多线粒体外还含有大量直径约 $0.5\mu\text{m}$ 的无特殊构造的囊泡，囊泡内含有在轴浆中合成的乙酰胆碱（ACh）。在神经处于安静状态下，一般只有少数囊泡随机释放，不能对肌细胞产生影响。当神经末梢处有动作电位传来时，在动作电位去极化的影响下，大量囊泡向轴突内侧靠近，通过出胞过程，将其中的乙酰胆碱释放进入接头间隙。囊泡的释放还与细胞外液中的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子浓度有关（图圆-员）。



图圆-员 神经—肌肉接头示意图

（圆）兴奋在神经——肌肉接头的传递

当运动神经元兴奋时，冲动沿神经纤维传至轴突末梢，使轴突末梢去极化，改变了神经膜的通透性，使细胞外液中部分 Ca^{2+} 进入轴突末梢，引起轴浆中 $0.5\mu\text{m}$ 直径的囊泡破裂，释放出

乙酰胆碱进入接头间隙。当乙酰胆碱经接头间隙到达终板膜表面时，立即与膜上的特殊受体相结合，引起膜对 ^晕 和 ^运 的通透性改变而导致除极化，进而触发一个可传导的动作电位，该电位沿肌膜传播到整个肌纤维，并引起这条肌纤维收缩。接头传递能保持“员对员”的关系，还要靠每一次神经冲动所释放的乙酰胆碱能够在它引起的一次肌肉兴奋后被迅速消除，否则它将持续作用于终板而使终板膜持续去极化，并影响下次神经冲动到来的神经冲动效应。已知乙酰胆碱的清除主要靠胆碱酯酶的降解作用来完成，此酶主要分布在接头间隙中和接头后膜上，它们大约可在圆园毫秒的时间内将一次神经冲动所释放的乙酰胆碱消除掉。

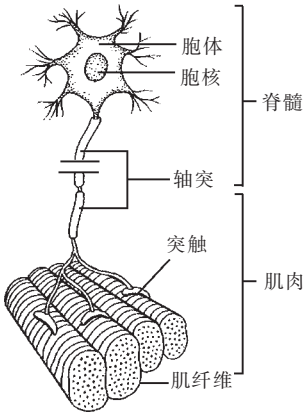
神经的肌肉接头处兴奋传递有如下特点：①化学传递。是通过传递化学物质即递质来进行的，这里的递质是乙酰胆碱。②单向性传递。兴奋只能由运动神经末梢传向肌纤维，而不能逆传。③时间延搁。兴奋的传导速度在接头处要比在同一细胞中慢，即在此处要延搁一定的时间（约为圆缘-圆园毫秒）。④易受化学和其他环境因素的影响。

圆运动单位与肌电图

（员 运动单位

一条运动神经元的轴突末梢可分出很多分支出来和肌纤维接触，因此一条运动神经元可以支配多条肌纤维，将运动神经元连同它的全部末梢所支配的肌纤维，共同组成了一个肌肉活动的基本单位，称运动单位（图圆-圆）。

一个运动单位中所含肌纤维数目，与肌肉活动所需的精



图圆-圆 运动神经元的分支通过运动终板与许多肌纤维数联系

密程度有关。如眼内肌中，运动单位中最少只有 1 条肌纤维，而在腓肠肌中，运动单位中则多至上千条肌纤维。通常，每一运动单位内所有肌纤维都有相同的生理生化特征，但每一运动单位的肌纤维通常都分散于直径 1cm 的圆形区域内而不聚集于一处。在这类区域内，通常有 1 个运动单位的肌纤维混杂分布着，当部分运动单位收缩时，可使整块肌肉的活动保持平稳状态。

在脊髓前角中，支配骨骼肌的 α 运动神经元可分为大运动神经元和小运动神经元两种。大运动神经元发出的有髓鞘神经纤维，其纤维粗大，传导冲动速度快。轴突终末大而扁平，与肌肉接触面积大。小运动神经元发出的有髓鞘神经纤维，纤维较细，传导冲动的速度较慢，其轴突末梢成圆形，与肌肉接触面小。根据骨骼肌纤维的功能特性，还可分为两类：一类称快肌纤维，它受大运动神经元支配；另一类称慢肌纤维，它受小运动神经元支配。每一运动单位内的肌纤维都属同一类型。所以由大运动神经元支配的快肌纤维称快运动单位，由小运动神经元支配的慢肌纤维称慢运动单位。

（四）运动单位动员

肌肉接受刺激时，并不是以整块肌肉为单位参与工作，也不是以单个肌纤维为单位参与工作，而是以一个神经元及其支配的一组肌纤维为单位参与活动。

在肌肉进行一些长时间耐力性运动，或者维持工作中，如人体静止直立等，主要是下肢的慢运动单位参与工作；在一些大力量和快速的爆发力工作中，如短距离冲刺、投掷的发力等，主要是快运动单位参与工作。

在肌肉工作中，快、慢不同的运动单位动员，主要取决于神经冲动强度和频率的大小。慢运动单位的兴奋阈低，很轻微的刺激就可引起其工作；快运动单位的兴奋阈高，需要较大的刺激才能引起其工作。当肌肉受到的刺激不大或外界负荷较小时，慢肌

运动单位参与工作，当外界负荷较大时，快肌运动单位也被动员参与活动。

肌肉工作时不同类型肌纤维参与不同强度工作是相对的，在小强度长时间的运动中，当慢肌疲劳时，快肌也将参与工作，以维持肌肉的正常工作。而在一些大强度活动中，当快肌工作能力下降时，慢肌则被动员参与工作。当然，肌肉力量和工作特征也会发生相应的变化。

（三）肌电图

肌肉活动时，总是兴奋发生在前，收缩出现在后。通常把肌肉兴奋时产生的动作电位变化通过电极引导、放大记录所得的图形称为肌电图（*myoelectric graph*）。引导电极有两种，即针电极和表面电极。针电极引导出的肌电图是直接从肌组织中引导出来，检查单个运动单位甚至单条肌纤维的肌电变化。表面电极是用金属片置于覆盖被测肌肉的皮肤表面，测出的肌电图能反映整块肌肉的机能状态。正常的肌肉在完全松弛情况下不出现电活动，引导电极插入肌肉后，在记录仪上仅描出一条平稳的基线。如果针电极刚好插入正常肌肉的运动终板或其邻近部位时，可出现 $10\mu\text{V} \sim 100\mu\text{V}$ 的不规则的低压波动，即终板电位。如果让受试者作轻度的肌肉收缩，立即出现电活动，称运动单位电位，这是代表一个运动单位的部分肌纤维电活动的总和。

运动单位电位的波幅，代表放电的强度，其大小取决于兴奋的运动单位大小或活动肌纤维数目，参与活动的运动单位和肌纤维愈多，收缩也愈强，肌电图振幅越大。运动单位电位的频率，主要取决于运动单位兴奋活动的强度，兴奋活动强，放电频率高，兴奋活动弱，放电频率低。如紧张性运动单位，其放电频率约 $10 \sim 20 \text{次} \cdot \text{秒}^{-1}$ ，颜面肌和眼外肌为 $10 \sim 20 \text{次} \cdot \text{秒}^{-1}$ 。

运动单位电位所反映的只是单个运动单位活动时的电变化，在实践中随着肌肉活动强度的增大，参与工作的运动单位数目以

及放电的频率增加，肌电图也不同（图 8-1）。肌肉轻度收缩时，可引导出一个或几个运动单位的电位，其振幅较低，为单纯相。当肌肉作中等强度收缩时，参加收缩的运动单位数目及放电频率也增加，振幅随之增大，为混合相。当肌肉作最大收缩时，参与放电的运动单位更多，放电频率会更高，肌电图上的电位重叠，无法分辨出单个电位，振幅达到最大，称干扰相。

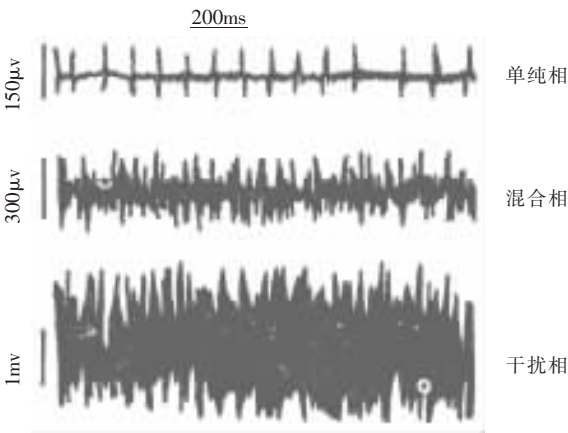


图 8-1 猿猴不同程度用力时的肌电图

二、骨骼肌的微细结构

每块肌肉的基本结构是相同的，都是由中间膨大的肌腹部分和两端没有收缩功能的肌腱部分组成。肌腱直接附着在骨骼上。骨骼肌的肌腹收缩时通过肌腱牵动骨骼而产生各种运动。

每块肌肉都是由许多肌束聚集在一起形成的，外面包绕着肌外膜。每束肌肉由许多肌细胞排列成束，外面包绕着肌束膜。骨骼肌细胞长短不一，长的可超过 1 米，短的仅有几毫米，骨骼肌细胞因为有明暗相间的横纹，又称为横纹肌。由于它是由数量

不等的肌纤维组成的，所以又被称为肌纤维。

肌纤维同其他细胞一样，有细胞膜（肌膜）、细胞核、细胞质（肌浆），细胞核多个。肌浆中除包含丰富的线粒体、糖原和脂滴外，还充满平行排列的肌原纤维和复杂的肌管系统。肌原纤维是肌纤维的收缩单位，肌管系统对实现肌肉收缩过程中兴奋—收缩偶联起着重要作用（图 圆- 源）。

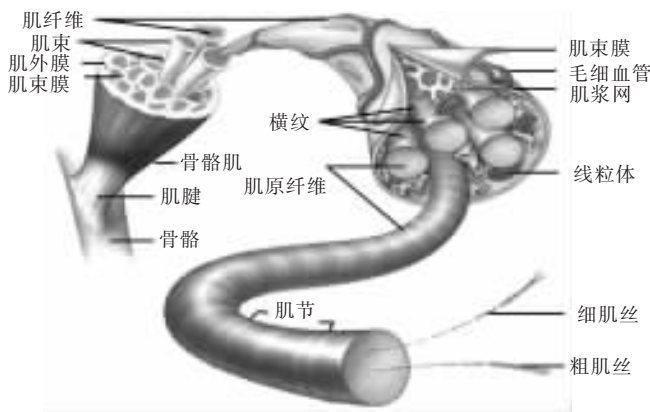


图 圆- 源摇骨骼肌的构造

肌原纤维和肌小节

每个肌纤维含有大量直径 员~ 圆μm 的纤维状结构，称肌原纤维，它们平行排列，纵贯肌纤维全长，在一个肌细胞中可达上千条之多。每条肌原纤维的全长呈现规则的明、暗交替，分别称明带、暗带（图 圆- 缘），平行在各肌原纤维之间，明带、暗带在同一水平上。暗带长度较固定，肌肉收缩和舒张时，都在原位；在暗带中央有段较亮的区域，称 匀带，长度随肌肉所处状态的不同而有变化。在 匀带中央，又有一条横向的暗线，称 酝线，明带的长度在肌肉安静时较长，当肌肉收缩时，长度可变短。明带中央也有一条横向的暗线，称 在线，两个相邻的 在线间是一

个肌小节。在同一肌纤维中，并列的各肌原纤维的明带或暗带不仅长度相等，而且在横向的排列上也整齐划一，处于同一水平，肌纤维呈现明显的明暗相间的横纹。

用 载线衍射等更精密的方法进一步发现，肌小节的明带和暗带有平行排列的丝状结构，称肌丝。暗带中含有肌丝较粗，直径约 2.2μm，称为粗肌丝，长度与暗带相同。明带中的肌丝较细，直径约 0.6μm，称细肌丝。由 在线结构向两侧明带伸出，它的游离端一段伸入暗带，和粗肌丝处于交错和重叠的状态。匀带中只有粗肌丝。匀带以外的暗带中，既有粗丝，也有细丝。

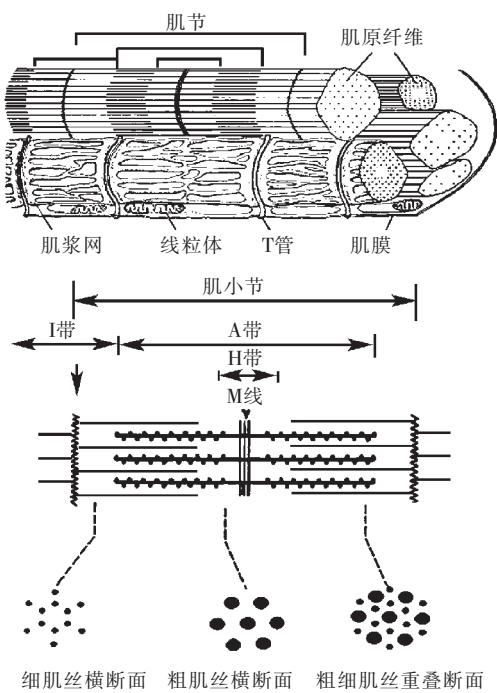


图 圆 缘 骨骼肌细胞的肌原纤维和肌管系统

粗细肌丝相互重叠时，在空间上也呈规则的排列（图圆-缘，横切肌原纤维的断面上，通过明带的横断面上只有细肌丝，位置相当正六边形的各顶点；通过 匀带的横断面上只有粗肌丝，都处于正三角形的各顶点上。在 匀带两侧的暗带的横断面上，看到粗、细肌丝交错排列，即每一条粗肌丝正处在以六条细肌丝为顶点的正六边形的中央，为收缩时粗细肌丝间的相互作用准备了条件。

圆-缘 肌管系统

肌管系统指包绕在每条肌原纤维周围的膜性囊管状结构，由来源和功能不同的两组独立的管道系统组成。一部分肌管的走行方向与肌原纤维垂直，称横管系统或 裁管，由肌膜向细胞内凹入形成，穿行在肌原纤维之间，凹入位置相当于各 在线水平，所以在该细胞表面可见到许多整齐排列的小孔。横管内和细胞外液相通，横管内液体就是细胞外液；肌原纤维周围还有另一组肌管系统，称肌浆网，走向与肌小节平行，称纵管系统或称 蕴管。纵管系统包绕每个肌小节的中间部分，它们相互沟通，在接近肌小节两端的横管时管腔膨化，称终末池。终末池是钙的贮库。每一横管和来自两侧肌小节的纵管终末池构成三联管结构（图圆-远。横管和纵管的膜在三联管结构处并不接触，有 员圆大皂的间隔，并不直接沟通。横管系统的作用是将肌细胞膜动作电位沿 裁管传到细胞内部；肌浆网和终末池的作用是通过钙离子的储存、释放和再积聚，触发肌小节的收缩和舒张；三联管结构是把肌细胞的电变化和细胞内的收缩衔接或耦联起来的关键部位。

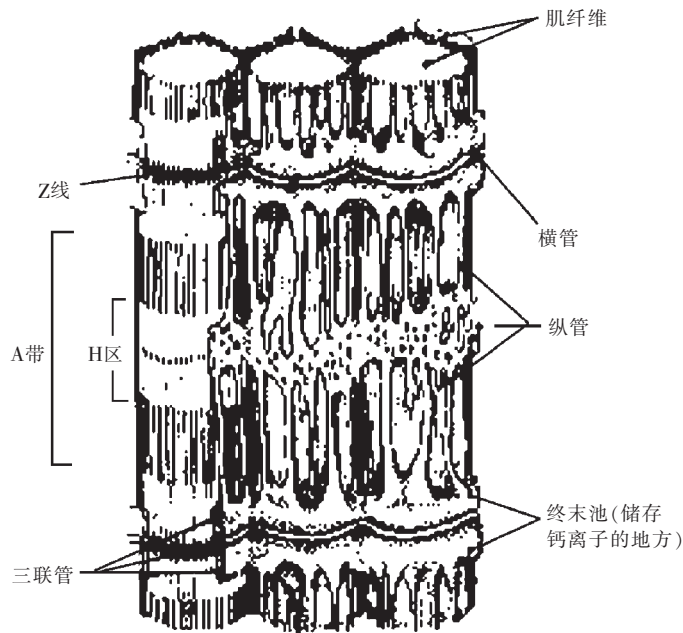
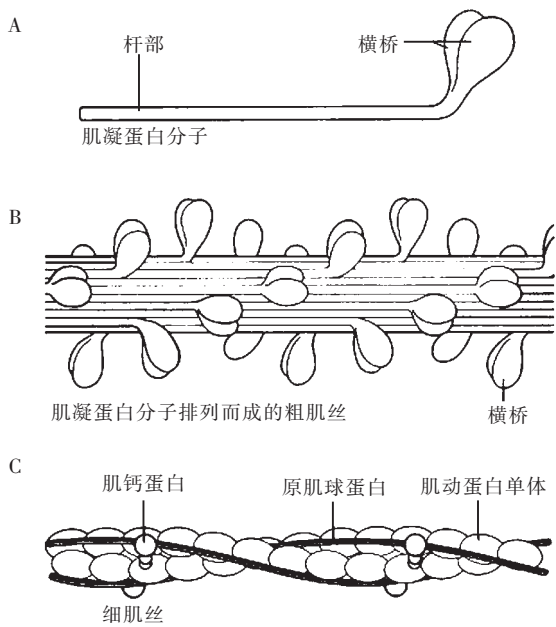


图 圆- 远 肌管系统结构示意图

猿肌丝的分子组成

(员 粗肌丝。粗肌丝由肌球蛋白分子组成，每条粗肌丝约包含 猿园园~ 猿源园个肌球蛋白 (亦称肌凝蛋白) 分子，每个分子长约 员. 猿μm。呈长杆状而在一端有球状膨大部垂直翘起。在组成粗肌丝时，这几百个肌球蛋白分子分成两束，排列方向相反，各杆状尾部皆朝向肌节中央聚合，形成粗肌丝的主干，头部即朝向 在线，并有规则地垂直突出于 匀带两侧的粗肌丝主干表面，形成所谓横桥 (图 圆- 苑，朝向细丝。暗带中 匀带区无横桥，这一排列方式使两侧的细肌丝滑动时，都朝向肌小节中央。

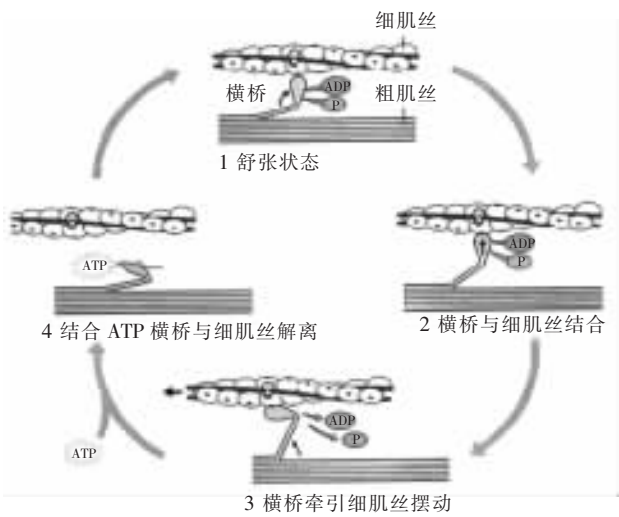


图圆-苑 粗细肌丝的分子结构

横桥的功能特性对肌丝的滑行有重要意义。一是横桥上有一个能与 ~~肌凝~~ 结合的位点，同时具有 ~~肌凝~~ 酶的活性，横桥与细肌丝接触后，此酶被激活，可促使 ~~肌凝~~ 释放出能量，供肌肉收缩时利用。二是横桥在一定条件下可以和细肌丝上的肌动蛋白分子呈可逆结合，并出现横桥向肌节中央的倾斜摆动，使横桥与粗丝主干之间角度减小，产生力量拖动细丝向肌小节中央滑行（图圆-愿）。

（圆 细肌丝。细肌丝有三种蛋白质组成，其中肌动蛋白（亦称肌纤蛋白）占 ~~远~~，与肌丝滑行有直接关系，故和肌球蛋白同称为“收缩蛋白”。肌动蛋白为长纤维状的双螺旋结构，由两列球状单体相互缠绕而成，构成细肌丝的主干（图圆-苑，

另外两种蛋白并不直接参与肌丝间的滑行，但对肌丝的滑行起控制作用，称“调节蛋白”。其中原肌球蛋白也呈双螺旋结构，和肌动蛋白并行，肌肉安静时原肌球蛋白正好位于肌动蛋白和横桥之间，起到阻碍两者相结合的作用。另一种调节蛋白称肌钙蛋白，在细肌丝上不直接和肌动蛋白相连，以一定的间隔出现在原肌球蛋白的双螺旋结构之上。肌钙蛋白的分子呈球形，对肌浆中的钙有很大的亲和力，很容易与钙成可逆性结合。当其与钙结合时，把信息传递给原肌球蛋白，引起原肌球蛋白的分子构形发生改变，解除它对肌动蛋白和横桥相互结合的阻碍作用。肌肉静息时，整个肌钙蛋白像一把钩子，把原肌球蛋白钩住，将它固定在肌动蛋白的双螺旋沟的沟沿。当它与钙结合时，肌钙蛋白的构形发生改变，钩子失去作用，使原肌球蛋白向侧方向运动而滑到沟底，露出肌动蛋白上能与横桥结合的位点，横桥即与之结合，引起肌肉收缩（图圆-愿）。



图圆-愿 横桥周期

三、肌肉收缩过程

肌肉收缩的肌丝滑行理论

霍奇金等在 19 世纪 80 年代初提出用肌小节中粗、细肌丝的相互滑行来说明肌肉收缩的机制，这一机制被称为滑行理论。肌肉收缩虽然在外观上看到整个肌肉或肌纤维的缩短，但在肌丝本身结构和长度不变，只是在肌小节内发生了细肌丝向粗肌丝之间的滑行。因为肌纤维在缩短中，暗带长度不变，而只能看到明带长度的缩短，只是更向暗带中央移动，和粗肌丝发生了更大程度的重叠。这种变化只能用粗、细肌丝之间出现了相对滑行的现象来解释（图 圆 怨）。

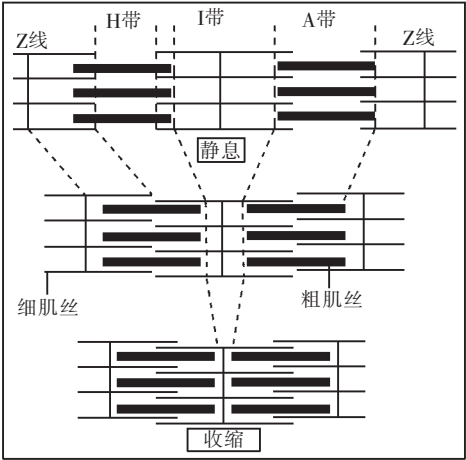


图 圆 怨 肌肉收缩的肌丝滑行理论示意图

肌肉的收缩是由于细肌丝和粗肌丝的相互滑行，而这种滑行是由于横桥运动产生的。但在完整机体中，肌肉的收缩是由运动神经以冲动形式传来的刺激引起的，即冲动经神经—肌肉接点传递到肌膜，引起肌膜产生一个可传导的动作电位，从而触发横桥运动，产生肌肉收缩，收缩后又必须舒张才能进行下一次收缩。

因此，肌肉收缩的全过程包括三个互相衔接的主要环节：①细胞膜的电位变化，触发肌肉收缩这一机械变化，即兴奋—收缩耦联；②横桥的运动引起肌丝的滑行；③收缩的肌肉舒张。

（员 兴奋——收缩耦联

肌肉收缩必然是刺激在引起收缩之前，先有肌膜上的动作电位，然后才出现肌细胞的收缩。这样，在以膜的电变化为特征的兴奋过程和以肌丝的滑行为基础的收缩过程之间，必然存在着某种中介性过程把两者联系起来，这一过程称为兴奋—收缩耦联。主要有以下两个步骤：

①动作电位沿横管系统传向肌细胞深部，横管系统的膜是肌膜的直接延续，因此动作电位沿肌膜传布，经过横管系统传到细胞内部，深入到三联管和肌小节近旁。图 圆- 猿的虚线箭头表示动作电位沿肌膜进入横管系统，并进而传至三联管的终末池。

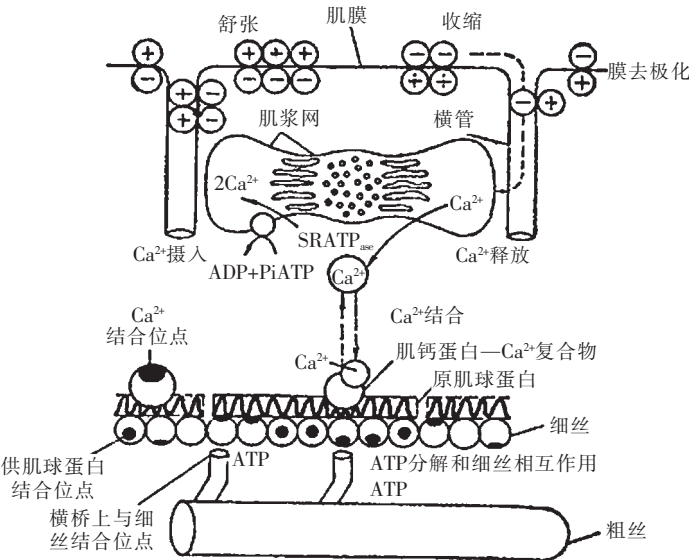


图 圆- 猿 肌肉兴奋—收缩耦联的几个步骤

②三联管兴奋引起终末池释放钙离子，触发肌肉收缩，与横小管共同形成三联管的终末池，是钙离子的贮存库。肌肉安静时，肌细胞内的钙离子约有 10^{-5} 以上贮存在终末池内。当动作电位沿横管传到三联管区域时，这种电变化通过尚不清楚的某种方式影响终末池，使终末池上的钙通道突然大量开放，钙离子顺着浓度差迅速进入肌浆，使肌浆中的钙离子浓度从安静时低于 10^{-5} 突然上升到 10^{-4} 水平，升高 10 倍。肌浆中的钙离子又迅速扩散到附近的肌原纤维中，并与细肌丝上的肌钙蛋白结合，引起原肌球蛋白构形发生改变，使原肌球蛋白对肌动蛋白与横桥结合的阻碍消除，触发肌丝滑行。

（圆）横桥运动引起肌丝的滑行

①当肌浆中增高的钙离子与肌钙蛋白结合，原肌球蛋白从肌动蛋白的双螺旋沟的沟沿滑到沟底，露出肌动蛋白丝上的位点，含有 ATP 的横桥与此位点结合，形成肌动蛋白-肌球蛋白- ATP 复合体，横桥中的肌球蛋白 ATP 酶受肌动蛋白激活，使横桥中的 ATP 迅速水解成 $\text{ADP} + \text{P}_i$ 释放出能量，引起横桥头部向粗丝的中心方向摆动，拖动细丝向肌节中央滑行（图 圆-愿）。

②横桥头部的摆动，暴露出它上面的 ATP 结合点，新的 ATP 立即与之结合，横桥头部与肌动蛋白分离，横桥中 ATP 通过内源性分解放能，使横桥从倾斜位回到正常的垂直位。如果 ATP 缺乏，没有新的 ATP 与之结合，横桥就不能与肌动蛋白分离而出现“僵硬状态”（图 圆-愿）。

当横桥恢复正常位时，头端又与肌动蛋白的下一个位点相结合，于是又发动一次新的摆动，拖动细肌丝进一步向粗丝中央滑行，肌肉缩短（图 圆-愿）。

（猿）肌肉的舒张

当刺激停止，钙离子的释放也立即停止。肌浆网膜上的钙泵迅速地将钙离子泵回肌浆网的纵行管，再扩散到终末池。肌浆中

的钙离子浓度下降，钙离子与肌钙蛋白分离，肌钙蛋白的构形恢复原状，原肌球蛋白又回到原位，使横桥与肌动蛋白分离，粗丝与细丝回到它们原来的状态。如果钙离子主动运输被抑制，即钙离子不能回到肌浆网，即使刺激停止，肌肉也不能舒张，出现持续性地收缩状态，称挛缩。钙泵将钙离子主动泵回肌浆网所需要的能量是 葡萄糖分解提供的。因此，肌肉收缩和舒张都需要 葡萄糖分解供能。

图 圆- 猿 单收缩和强直收缩

肌肉收缩根据引起肌肉收缩的刺激频率而分为单收缩和强直收缩。

(员 单收缩。整块骨骼肌或单个肌细胞受到一次短促的刺激时，被刺激的细胞产生一次动作电位，紧接着进行一次收缩，称为单收缩。图 圆- 猿是哺乳动物骨骼肌的一次单收缩的全过程，同时记录了肌肉的动作电位。肌肉收缩开始于动作电位的去极化之后，从刺激开始到肌肉产生收缩之间的时期称潜伏期(兴奋 原收缩偶联所占的时间)。整个收缩曲线以张力发展的最高点为界，可分为收缩期和舒张期，收缩期较舒张期短。

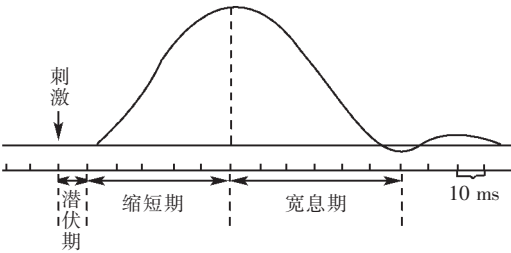


图 圆- 猿 肌肉的单收缩曲线

强直收缩。若给予骨骼肌一连串的短促刺激，如果刺激间隔长于单收缩的持续时间，即产生一串的单收缩。如果刺激间的时间间隔很短，后一个刺激都落在由前一刺激所引起的收缩尚未结束之前，肌肉得不到完全宽息就产生了第二次收缩，这种一连串的收缩称为不完全强直收缩。如果刺激频率加快，相继的两个刺激中的时间间隔缩短，前一刺激引起的收缩宽息之前，

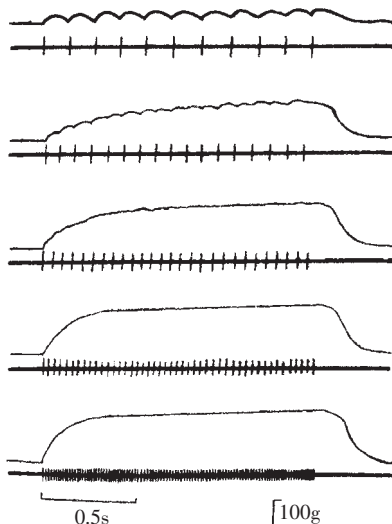


图 2-5 不完全强直收缩和完全强直收缩

后，后一刺激所引起的收缩就已开始，这种一连串刺激引起的收缩称为完全强直收缩（图 2-5）。如图所示的肌肉兴奋（每个强直收缩示意图的下面的曲线）和收缩（每个强直收缩示意图的上面的曲线）是不同的生理过程。在强直收缩中，肌肉的收缩可以完全融合，但动作电位仍然是个个分立而不融合。

在正常机体中，肌肉的单收缩很难产生。因为在完整的机体中，神经系统传来的冲动都是一连串的。强直收缩使收缩力量增强。在一定范围内，刺激频率愈高，强直收缩产生的力量愈强。最大强直收缩的力量约为单收缩的 200 倍。

强直收缩为何能比单收缩产生更大的力量？因为单收缩过程中，一部分收缩能量用于克服结缔组织和肌肉其他成分长度变化的阻力，强直收缩过程中，肌肉不能回到静息时的长度，不需反复克服组织的阻力。所以，在单收缩中用于克服肌肉阻力的能量

多于强直收缩中做功。

第二节摇骨骼肌的收缩形式及力学分析

一、肌肉的弹性成分
对肌肉工作的影响

构成骨骼肌的基本组织有肌组织、结缔组织、神经组织和血管。其中肌纤维是主体，是肌肉中的收缩成分，其功能是通过收缩而产生拉力。肌肉中的结缔组织是肌肉中的弹性成分，由肌肉中的结缔组织、肌腱、在线等组成。根据弹性成分与收缩成分在结构上的排列关系，把弹性成分分为并联弹性成分和串联弹性成分。并联的弹性成分与收缩成分呈并联排列，串联弹性成分与收缩成分成串联存在（图 圆- 员）。并联弹性成分可能主要取决于肌肉中结缔组织和它的顺应性，串联弹性则可能主要存在于肌原纤维本身的横桥和 在线上，以及肌腱中。

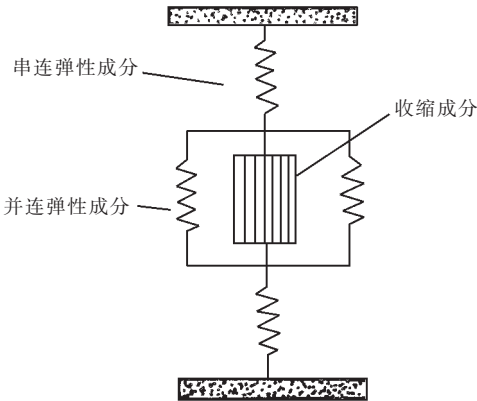


图 圆- 员摇肌肉的收缩成分和弹性成分排列示意图

肌肉的弹性成分在肌肉收缩的力学中起着重要作用。人体大多数位移运动不是通过单纯的向心收缩牵拉骨杠杆而产生的，而是离心收缩和向心收缩相交迭，形成一种牵拉——缩短环式的运动。即在向心收缩前产生离心收缩，使肌肉中的弹性成分被牵拉而伸长以贮存弹性势能，从而使其后的缩短收缩利用这一贮存起来的弹性性能，其后即以弹性反作用力的形式发挥出来，促使肌肉产生更大的力量和更大的运动速度。肌肉弹性成分这种作用实际上是实现收缩力的第二种机制，是提高有节奏的（如跑步）和弹性反冲性（如跳远）运动效率的依据。在跑步中发挥蹬地力量的肌群如股四头肌、臀大肌等，在蹬地前所做的伸展，实际上是利用它来贮存能量，以便其后将它转化为向前的推进力来增进跑速。研究证明，跑步中消耗的能量 $\frac{1}{2}$ 左右是用于此种反作用力的。此外，由于弹性成分的伸展特性可吸收一部分力，从而使收缩成分产生的张力变化趋于缓和，在完成跳跃、跑步、投掷等激烈运动时，起保护作用，防止肌肉损伤。

运动对弹性成分的影响

（员）长期运动可提高肌腱的抗张力量和抗断力量

实验表明，运动训练可提高肌腱抗张应力，特别是肌腱与骨结合区的结合能力和力量，从而提高肌肉—腱复合体传递力的效益，预防运动创伤。

（圆）长期运动可使肌肉中的结缔组织增生

大量研究显示，肌肉超负荷训练后，在引起肌肉肥大的同时，肌肉中的结缔组织也相应增生，为弹性势能的储存提供更大的空间。

二、肌肉收缩的形式

肌肉完成各种运动，都是通过肌肉收缩来实现的。肌肉在收缩时表现出长度和张力的变化。根据肌肉收缩时长度和张力变化的特点，肌肉收缩分为三种基本形式。

源缩短收缩

缩短收缩又称向心收缩。当肌肉收缩时所产生的张力大于外加阻力（负荷）时，肌肉缩短，牵拉它附着的骨杠杆做向心运动，这种收缩叫缩短收缩。缩短收缩是人体得以实现各种加速运动的基础，如屈肘、高抬腿、挥臂等。缩短收缩时，肌肉消耗了大量的能量用以完成外功。缩短收缩又可根据收缩时负荷和速度的变化分为等张收缩和等动收缩。

（员 等张收缩。在实验室里，离体的肌肉对抗阻力时，当其张力发展至足以克服阻力时，在其后的缩短中不再改变，这种肌肉的收缩形式称等张收缩。但身体的肌肉由于处于不同关节角度时骨杠杆的变化、肌肉长度的变化、负荷臂与重力的相互关系的变化等因素，肌肉力量发挥，会因关节不同角度而有所不同。如图 圆- 员所示，当时关节屈曲举起一恒定负荷时，肱二头肌在屈肘时所能产生的张力，随关节角度的变化而改变，以在关节角度为 员缘毅 员圆毅时最大，而在关节角度为 猿毅时最小。由于肌肉举起一物体所需的张力，必须稍大于被举起的物体，因之，肱二

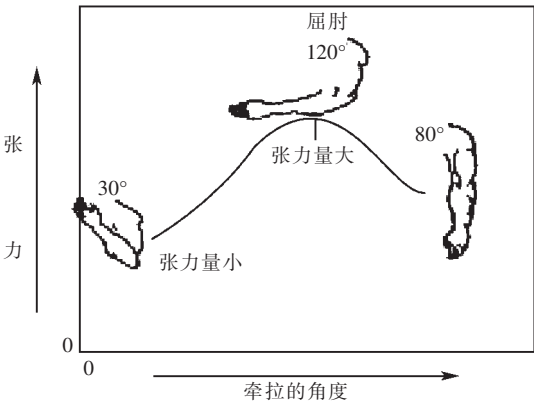


图 圆- 员 等张收缩时，肌肉产生的张力随关节角度而变化

头肌在整个屈肘范围内所能举起的最大重量，必然不会大于其张力最弱点即在关节运动时所能举起的最大重量。肌肉在作最大等张收缩时，肌肉的最大收缩能力只有在张力最弱点处才能达到，在其余的过程中，肌肉的收缩能力都不可能达到最大，所以身体的肌肉不会有“等张收缩”工作。

（圆 等动收缩。等动收缩是肌肉收缩过程中，一直以恒定的速度（称等动）进行最大收缩。如划船运动员的划桨动作。等动收缩时，在关节运动的整个范围内，肌肉都能产生最大的张力。这是由于在运动中，负荷能随关节运动的变化而变化。在关节角度的张力最小点时负荷最小，而在关节角度张力最大点负荷最大。在用专门的等动训练器进行练习时，可通过调整肌肉对抗的阻力（负荷）来实现控制肌肉收缩的速度，当肌肉产生的张力增大时，给予肌肉的阻力也增大，反之则减小。无论肌肉产生多大的张力，都可使运动速度保持恒定，在等动训练器上可以预先设定运动速度。

（圆 拉长收缩

拉长收缩又称离心收缩。当肌肉收缩时产生的张力小于外力时，肌肉虽积极地收缩，但仍然被拉长了，这种收缩称拉长收缩。拉长收缩在运动中起着制动、减速和克服重力等作用。拉长收缩时，肌肉做负功。在跑步过程中，当屈髋肌群用力收缩使大腿快速抬高到一定限度时，伸髋肌群即积极收缩以制止大腿进一步抬高。但由于伸髋肌群的张力小于屈髋肌群的力量，伸髋肌群虽然积极地收缩，但仍然被拉长了。这不仅限制了大腿过分抬高，同时也为伸髋肌群在后继的伸髋动作中发挥更大的力量创造了前提条件。

（圆 等长收缩

当肌肉收缩产生的张力等于外力时，肌肉虽积极地收缩，但长度不变，这种收缩称等长收缩。实际上，从外表看，整块肌肉长度虽没改变，但肌肉中的收缩成分还是缩短了，张力使弹性成

分拉长并作用于外力。等长收缩时，张力可发挥到最大，但由于肌肉没有位置的移动，从物理学上来说，肌肉没有做外功，但仍然消耗了很多的能量。在运动中，等长收缩起着支持、固定和保持某一姿势的作用，如站立、马步、支撑、悬垂等。

作任何运动动作，都有赖于这三种肌肉工作形式的配合。实际工作中把跑、跳这类运动称为动力性工作，把体操中的支撑、悬垂称之为静力性工作。如此分类只是表明这种肌肉工作形式，在这类活动中起主要作用。

上述三种肌肉工作形式的比较如表 圆- 员所示。

表 圆- 员 肌肉的三种收缩形式的比较

收缩形式	肌肉长度变化	外力与肌张力的比较	在运动中的功能	肌肉对外所做的功	能量供给率
缩短收缩 (向心收缩)	缩短	小于肌张力	加速	正	增加
拉长收缩 (离心收缩)	拉长	大于肌张力	减速	负	减少
等长收缩	不变	等于肌张力	固定	未	小于缩短收缩

三、肌肉收缩的力学分析

骨骼肌在运动中的功能，是它们在受到刺激时产生张力或缩短，完成机体运动或对抗外力。当肌肉克服阻力而缩短或肌肉缩短牵拉某一负荷物体时，就完成了一定量的功（物理功），等于所克服阻力（或负荷）和肌肉缩短长度的乘积。肌肉在收缩时是产生张力为主或表现收缩为主以及收缩做功多少，取决于肌肉本身的机能状态和肌肉所遇到的负荷条件。

肌肉收缩的张力—速度关系

肌肉收缩的张力与速度关系是指负荷对肌肉收缩速度的影响。在前负荷不变的情况下，改变后负荷大小使肌肉的张力与速度成反比。逐步增加肌肉的负荷，肌肉产生的张力也逐步增大，

但开始出现缩短的时间也愈晚，缩短的速度和缩短的长度也愈小。当负荷的增加达到某一数值时，肌肉的收缩将不能缩短，即缩短的速度和长度减小到零，但肌肉产生的张力却达到最大值（简称 孕）。由于肌肉完全没有缩短，因此它所作的功为零。在同样的实验中逐次减少后负荷的重量时，后负荷愈小，肌肉产生的张力愈小，但缩短出现得愈早，缩短的速度和长度却愈来愈大，这称为最大缩短速度（简称 灾）。肌肉在作最大缩短速度的收缩，理论上也是没有作功，因为这时的张力增加为零。

根据上述不同负荷时肌肉所表现的张力和缩短速度两相对应绘成坐标图，则可得到如图 圆 缘所示的曲线，称张力—速度关系曲线。图中曲线和横坐标轴相交的一点，肌肉完全不能缩短，张力达到最大（孕），相当于等长收缩的最大肌力。在曲线和纵坐标相交的一点，肌肉产生的张力为零，但缩短速度最大，该肌肉得到在当时的功能状态下的最大收缩速度。在这两个极端之间，在不同的后负荷时都能看到肌肉在产生与负荷相同的张力的情况下使负荷移动一定距离，说明肌肉产生的张力和当时的缩短速度呈反比。

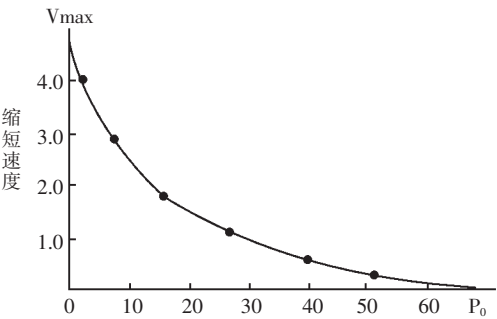


图 圆 缘 骨骼肌收缩的力量 越速度曲线

研究表明，肌肉张力和缩短速度可能分别被两种独立的机制

所控制，收缩产生张力大小取决于同时活化的横桥数目，而收缩速度则取决于横桥上能量释放的速率。当后负荷增大时，使更多的横桥处于活化状态，这样增大了肌肉收缩的张力，同时抑制了ATP水解，降低了能量释放率，使收缩速度变慢。收缩速度与活化横桥数目无关，其道理就像一个人或几个人以同样速度拖一根绳子，绳子的速度不变。

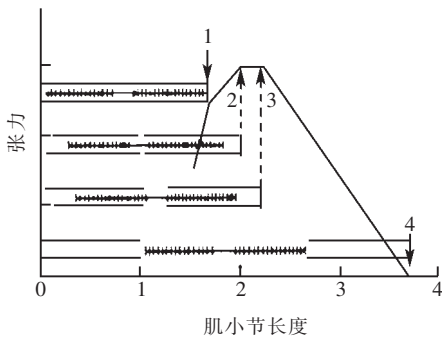
从张力—速度关系曲线可以看出，在其他因素相同情况下，要想得到较快的收缩速度，就必须降低负荷量。如果要克服更大的负荷阻力，肌肉收缩速度就要减慢。通过不同负荷量的训练，可得到不同的训练效果。小负荷训练可使肌肉的收缩速度得到提高。用大负荷进行训练，虽然可使肌肉力量得到较好的发展，但无助于收缩速度的提高。如果要达到最大的输出功率得到最佳的训练效果，就必须采用最适宜的负荷和速度。

■肌肉收缩的长度—张力关系

上述张力—速度曲线是在肌肉前负荷固定而改变后负荷时，肌肉所表现的收缩形式和张力、速度变化的情况。如果改变肌肉的前负荷，在肌肉收缩前就给予肌肉一定的负荷，使肌肉拉长以改变其初长度，可得到随着肌肉前负荷的增大，肌肉的初长度随之增加，肌肉产生最大的收缩效果。如果这时让肌肉进行等长收缩，它所能产生的张力将达到最大；如果让肌肉在不同后负荷时进行等张收缩，它在每一具体后负荷时的收缩速度，都要较肌肉处于任何其他前负荷时为大，说明做功能力的增大。在它达到最适前负荷以前，肌肉的收缩强度和做功将随负荷增大而增大，但在超过此限度之后，收缩效果将随前负荷的继续增加而减小。

由此可见，每一肌肉都存在一个最适的初长度或最适前负荷，肌肉在此长度下收缩时，可产生最大的收缩效果或做功能力。若初长度较长或较短时，其收缩效果下降。一般认为，人体中肌肉最适初长度稍长于肌肉在身体中的“静息长度”，此长度

被认为接近在人体内自然条件下最大可能的伸长（图圆- 猿中的猿；但亦有人认为它实际上较此为短。



图圆- 猿摇肌肉的长度—张力关系曲线

主动张力是肌肉收缩过程中肌球蛋白与肌动蛋白相互作用所产生的张力。此外，如果肌肉在收缩前受到牵拉，还将产生被动张力。被动张力是由于结缔组织和肌肉中其他弹性成分受到牵拉时产生的阻力。由图圆- 猿可见，肌肉的主动张力在肌肉初长度略长于静息长度时最大（圆和猿的区间），超过此长度后，或短于此长度时，主动张力即逐渐下降。

肌肉在最适初长度时为何能产生最大的张力？肌肉收缩力量的大小，主要取决于参加收缩的横桥的数目。根据肌肉收缩时肌丝相互关系的分析，最适初长度时粗丝和细丝处于最理想的重叠状态，使收缩时起作用的横桥数目达到最多，因而能产生最大的力量。初长度小于或超过最适初长度，都将使起作用的横桥数目减少，使收缩效果减弱。

然而，由于身体的肌肉属于肌肉—腱复合体，因此在运动中肌肉的最适初长度，除粗细肌丝重叠状态因素外，还有弹性势能存放，肌肉的牵张反射（下面章节还要详谈）等重要的增力因素。所以，肌肉用力前的适当牵拉，能增强肌力，不能单纯用肌

丝重叠单因素来解释。

肌肉收缩能力的改变对肌肉收缩的影响

上述的前、后负荷的改变对肌肉收缩时张力产生，缩短速度以及做功能力等力学表现的影响，是在肌肉功能状态恒定的情况下对所处负荷条件改变所作的不同反应。但如果与肌肉收缩直接有关的生化过程等内在机能状态的改变，例如缺氧、酸中毒、细胞内缺钙、肌肉中能源缺乏等都能使肌肉收缩能力减低，这时肌肉收缩效果下降。而钙离子、咖啡因、肾上腺素等体液则可通过影响肌肉的收缩机制而提高肌肉的收缩效果。现将影响肌收缩效果的肌肉内部功能状态的改变，定义为肌肉收缩能力的改变，以区别于肌肉收缩时外部条件，即前、后负荷改变所导致的收缩效果的变化。

第三节 肌纤维类型与运动能力

人类早在三百多年前就已发现动物骨骼肌纤维中有红色和较白色两种，且运动能力也有不同。后来它威尔（~~1843-1919~~年）用电刺激法证明红色肌纤维收缩速度较慢，不易疲劳；白色肌纤维收缩速度较快，易疲劳，并提出将骨骼肌分为红肌和白肌两种类型。

人类的骨骼肌也是由不同类型的肌纤维混合组成，把收缩速度较慢的称为慢肌纤维（~~慢肌~~）。慢肌因呈红色，又称红肌或 I 型肌纤维。把收缩速度较快的称为快肌纤维（~~快肌~~）。快肌因呈白色，又称白肌或 II 型肌纤维。研究发现，红肌和白肌纤维的结构、功能及代谢特征都有明显不同，对体育活动或运动训练的反应也有其特征。此外，快肌纤维又可分为三个亚型，即 IIA 型、IIB 型、IIC 型纤维。其中 IIA 型为快缩红肌。收缩速度同快肌，但在代谢特征上兼有快肌和慢肌的特征；IIB 型为快速白肌；IIC 型为一种未分化

的较原始的肌纤维，此型数量较少。

一、肌纤维的形态、功能特征

形态特征

快肌纤维：直径较慢肌纤维大，肌浆少，肌红蛋白含量少；线粒体数量和容积小，肌浆网较发达，对钙离子的摄取速度快；受脊髓前角大运动神经元支配，神经元的胞体大，轴突粗，与肌膜的接触面大。一个运动神经元支配的肌纤维数量多。

慢肌纤维：直径较小，肌浆丰富，肌红蛋白含量高。线粒体直径大、数量多，周围毛细血管网发达，受脊髓前角小运动神经元支配，神经元胞体小，轴突细，神经肌肉接点面积小。一个运动神经元所支配的肌纤维数量少（图 圆 苑）。

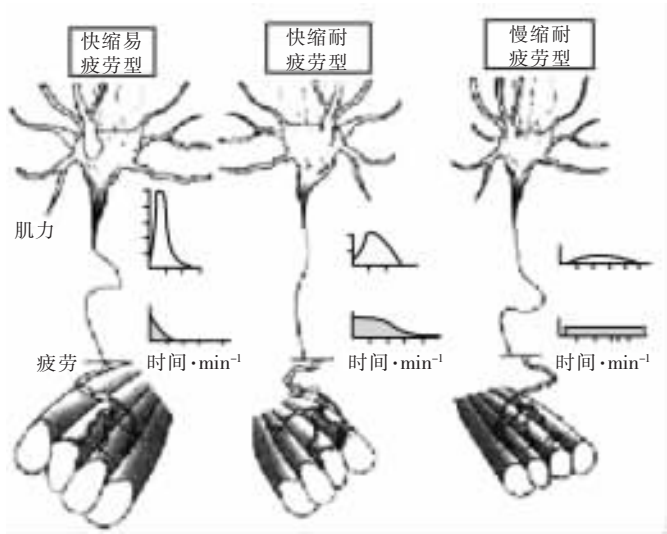


图 圆 苑 不同类型肌纤维的生理特性

摇摇圆代谢特征

快肌纤维：参与无氧氧化过程酶的活性较慢肌纤维高，其中肌球蛋白磷酸酶的活性为慢肌纤维的猿倍；肌激酶的活性为慢肌的员愿倍；肌酸激酶的活性为慢肌的员愿倍；乳酸脱氢酶的活性为慢肌圆-圆缘倍；糖酵解的底物肌糖原的含量高于慢肌纤维。

慢肌纤维：有氧氧化能力高于快肌，氧化脂肪的能力为快肌的源倍；线粒体数量、体积、氧化酶的活性都高于慢肌，毛细血管丰富，肌红蛋白含量多，为有氧氧化能力提供了有利条件。

猿生理特征

快肌纤维：收缩速度快，收缩时产生的张力大，因而收缩产生的力量也大，但易疲劳，不能持久。

慢肌纤维：收缩速度慢，收缩时产生的张力小，收缩时产生的力量小，但能持久，抗疲劳能力强。

人的肌纤维类型（按代谢特性区分）的特性总结如表圆-圆所示。

表圆-圆人骨骼肌纤维的特性（按代谢特性区分）

特性	慢肌（Ⅰ） （慢氧化型）	快肌（Ⅱ） （快氧化酵解型）	快肌（Ⅲ） （快酵解型）
肌纤维大小	小	大	大
肌球蛋白磷酸酶活性	低	高	高
肌球蛋白类型	慢	快	快
肌浆网的发达程度	差	发达	发达
对钙离子的亲和力	差	高	高
线粒体数量	多	多	少
线粒体酶活性	高	高	低
毛细血管数量	多	中等	低
糖原贮量	少	多	多
糖酵解能力	低	高	高
有氧氧化能力	高	高	低

(续表)

特性	慢肌 (I) (慢氧化型)	快肌 (II 型) (快氧化酵解型)	快肌 (III 型) (快酵解型)
神经元体积大小	小	大	大
神经元阈值	低	高	高
收缩速度	慢	快	快
收缩力量	小	大	大
能量产生效率	高	低	低
抗疲劳性	强	弱	弱

二、人类骨骼肌中肌纤维类型的分配

人类同一块骨骼肌中既有快肌纤维，又有慢肌纤维。两类肌纤维在同一块肌肉中的百分比，称肌纤维类型的百分组成。一般成人骨骼肌中慢肌纤维的百分组成约为 40%~60%。快肌纤维中以快 II 型占绝大部分，其次是快 III 型，快 I 型则较少见，约为 10%~20%。同一块肌肉，个体之间仍有可能有较大的差异。此外，人类肌纤维的百分组成还受功能特征、性别、年龄、遗传等因素的影响。

功能上，以维持身体姿势或紧张性工作为主的肌肉中，慢肌百分比比较高，如比目鱼肌，慢肌纤维占 80%。而以快速工作为主的肌肉，其中快肌纤维百分比比较高，如肱三头肌。快肌纤维约占 80%。

关于性别对肌纤维类型百分组成的影响，尚未取得一致的意见。有人认为：男、女性肌纤维类型的百分组成没有性别差异；也有人通过对双生子股外侧肌的研究，发现女子慢肌纤维百分组成比男子低，为 40%~50% 对 50%~60%。

在年龄上，一般认为青少年时期，肌纤维的百分组成无年龄差异，但在 10~15 岁以后，随着年龄的增加，肌肉中的慢肌纤维

维比例增加，快肌百分比相应减少。

在遗传上，研究表明，肌纤维百分组成很大程度上取决于遗传。对单卵双生子和双卵双生子肌纤维百分组成统计分析，男性遗传度约为 85%，女性遗传度约为 75%。

三、肌纤维类型与运动能力

研究发现，两类肌纤维百分组成与运动特点相关，慢肌纤维的特性适合耐力型项目的运动；快肌纤维的特性较适合速度、爆发力、力量型项目运动。研究还发现，优秀运动员肌肉中的两类肌纤维的百分组成与专项运动成绩明显存在着依存关系。参加时间短、强度大的运动项目，如短跑、举重等项目的运动员，腿肌中快肌纤维百分比占明显优势。参加长距离跑、马拉松等耐力项目运动员，腿肌中以慢肌纤维百分比占优势。无氧能力和有氧能力均需很高的中跑运动员，其两类肌纤维的分配接近相等，这种情况亦见于跳高、跳远运动员。当然以上只是一般规律，也有例外，如优秀马拉松运动员慢肌纤维最高可达约 95%，但也有个别运动员仅为 75%。同样在优秀短跑、跳跃运动员中，腿肌中快肌纤维达 95%，也有个别运动员仅为 75%。这说明符合专项要求的肌纤维分配比只是取得良好成绩的因素中一个因素，而要成为优秀的运动员还必须是运动员在生理、生化、心理、技战术、身体素质和生物力学等众多因素综合的结果。

四、训练对肌纤维类型的影响

训练能否引起两类肌纤维产生适应而相互转变

不同项目优秀运动员的主要工作肌群中，两种类型肌纤维百分组成与运动专项有明显依从关系的事实，必然使人们联想到这种关系是否由于训练导致两类肌纤维相互转化而改变快肌、慢肌纤维的百分比？这个问题一直存在两种不同的观点。到目前为

止,较多的研究学者认为,人类骨骼肌两类肌纤维百分比组成受遗传决定而不能随训练互变。也有人以为,骨骼肌具有很大的可塑性,进行长时间的大强度的耐力训练,可能使快肌纤维转变为慢肌纤维。而速度和力量训练,只能引起肌纤维某些亚微结构和代谢功能的变化。总之,肌纤维类型间能否相互转化,还有待今后不断地研究与观察。无论是遗传观点或训练——适应观点,利用肌纤维类型的有关理论来指导科学训练及科学选材都是重要的。

圆运动时快肌和慢肌纤维的募集

不同强度运动时,两类肌纤维的募集次序和程度是不同的。实验表明,在进行低强度或轻负荷活动时,优先使用慢肌纤维,随着运动强度的增大或负荷的加大,快 粤和快 月纤维依次被募集,当强度或负荷最大时,快 粤和快 月纤维被募集的百分比大于慢肌纤维。这是由于两类肌纤维的生理特性和代谢能力不同所致。由于快肌纤维的兴奋阈值高,因而只有在较大强度的刺激时才能产生兴奋,这一特性在运动训练中有很重要的应用价值。为了增进快肌纤维的代谢能力,训练活动必须由大强度的练习组成,才能保证快肌运动单位在训练中充分活动;同样,要增强慢肌纤维的代谢能力,训练必须由强度低、持续时间长的练习组成,才能保证慢肌运动单位在训练中优先使用。

猿训练对肌纤维横断面积的影响

实验证明,不同训练能使肌纤维发生明显的适应性变化。训练可使肌纤维产生选择性肥大,因而有训练者与无训练者相比,其肌纤维直径或横断面积均大于无训练者。赛尔汀发现耐力训练能引起慢肌纤维选择性肥大,力量训练可使快肌纤维出现选择性肥大,速度(短跑)训练可使慢肌和快肌纤维面积均增加,但由于快肌纤维增加得更多,故慢肌纤维的相对面积趋向减低。

源训练对肌纤维代谢能力的影响

经常进行耐力训练的长跑运动员腿肌中与氧化供能有关的琥珀酸脱氢酶活性增强，与糖酵解及磷酸原供能有关的乳酸脱氢酶和磷酸化酶活性无显著增加；而经常进行速度训练的短跑运动员恰恰相反，乳酸脱氢酶和磷酸化酶活性较高，琥珀酸脱氢酶活性最低；中跑运动员介于两者之间。关于训练对不同肌纤维的影响，耐力训练不仅能明显增加慢肌纤维线粒体数目、容积密度、琥珀酸脱氢酶活性，从而提高慢肌有氧能力，而且也能提高快肌纤维琥珀酸脱氢酶活性，使快肌也发生有氧能力增长的适应性变化。大重量力量训练，使肌纤维面积增大，而线粒体数量增加很少，线粒体容积密度相对降低，有氧能力反而降低。

缘训练对肌纤维影响的专一性

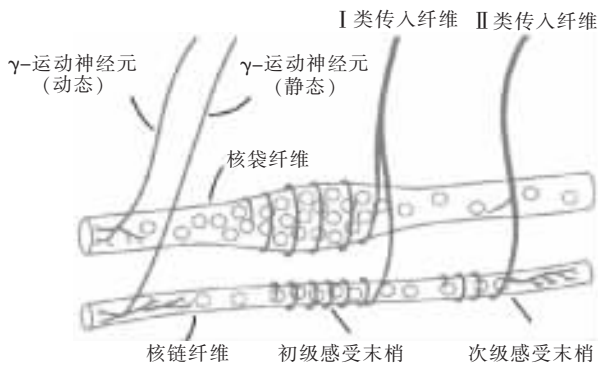
实验表明，训练所引起的肌纤维的适应性变化，具有很明显的专一性。这不仅表明在不同的运动专项或不同的训练方式上，也表现在受训练的局部上。即使同一个体，各部肌肉的活动程度不同，反应也不同。研究发现，划船运动员由于以臂部运动为主，臂部肌肉中慢肌纤维相对面积高达 苑缘缘豫，腿部由于运动少，腿肌中慢肌相对面积为 缘缘缘豫；游泳运动员由于臂、腿并用，发现腿部和臂部慢肌纤维相对面积分别为 愿愿缘豫和 苑苑缘豫。

第四节摇肌肉中感受器的结构及功能

肌肉感受器为运动的顺利完成不断向中枢提供关于肌肉长度、张力等变化信息。骨骼肌内的感受器有两种，即肌梭和腱梭。

一、肌梭及其功能

肌梭是由梭内肌纤维与感觉和运动神经纤维末梢组成的较为复杂的感受器，如图 圆- 苑所示。



图圆-缘 摇肌梭的梭内肌纤维及其传入、传出神经

圆-缘 梭内肌纤维

梭内肌纤维是肌梭内的细小肌纤维，有许多细胞核，按照细胞核所在的位置不同，将梭内肌纤维分为两类：一类纤维较粗的称为核袋纤维，细胞核集中在肌纤维的中央部；另一类较细的称为核链纤维，细胞核在肌纤维内呈链状排列。

圆-缘 感觉传入末梢

肌梭内的感觉神经末梢有两类：即初级感受末梢和次级感受末梢。前者同时支配核袋与核链纤维，其传入神经是 Ⅰ类纤维；后者只支配核链纤维，其传入神经是 Ⅱ类纤维。当肌肉长度不断变化时以及肌肉维持于变化后的长度时，均可使初级感受末梢放电频率增加，肌肉恢复原来长度时放电停止。所以初级感受末梢能检测肌肉的长度，也检测肌梭长度的变化，次级感受末梢主要检测肌肉的长度。

圆-缘 \gamma 运动纤维

支配梭内肌收缩的运动神经纤维是 γ 神经纤维，由脊髓前角 γ 神经元的轴突形成。梭内肌的中间部分缠绕着感受纤维末梢，没有收缩功能；而两端具有收缩能力， γ 运动纤维终止于梭

内肌的两端。当 γ 运动纤维兴奋时，两端肌纤维收缩，中间部分受牵拉，感受末梢兴奋，传入冲动增加。所以 γ 运动纤维传出的作用是增强肌梭的敏感性。

肌梭长约 1mm，附着在粗大的梭外肌肌膜上，与梭外肌呈并联关系。所以，梭外肌纤维受到外力牵拉时（即肌肉被外力作用而拉长时），肌梭也被牵拉，其感受末梢兴奋，传入纤维的神经冲动就会增加；相反，当梭外肌收缩时，肌梭被牵拉的作用减弱，传入纤维上的冲动就会减少。 γ 神经元及其传出纤维在运动中的重要功能就是使肌梭在肌肉收缩时仍有较高的敏感性。因为当梭外肌主动收缩时，梭内肌如果不同时收缩，肌梭的传入就会减少甚至停止，肌梭就不能向中枢提供关于肌肉长度的信息。由于 γ 神经元及其运动纤维的存在，当 α 运动神经元兴奋使梭外肌收缩时， γ 神经元的兴奋（其兴奋来源包括上级中枢的下传冲动以及外周的感觉传入）可以引起梭内肌的收缩，仍可使肌梭的传入维持在一定水平。

二、腱梭及其功能

腱梭是长约 1mm 的囊状结构（图 1-5），位于肌肉与肌腱的交接部位。实际上腱梭是由包裹膜包裹着肌腱的胶原纤维而成。肌腱的胶原纤维组成发辫样结构，外面缠绕着感觉传入终末，连接的感觉传入纤维是 A 类神经纤维。牵拉肌腱会使腱梭兴奋，所以腱梭也是感受肌肉长度变化的感受器。但腱梭主要对肌肉主动收缩引起的牵拉敏感，主要感受主动牵拉所产生的张力变化。

肌梭与腱梭的功能不同，肌梭是一个检测肌肉长度的感受器，而腱梭则是检测肌肉主动收缩张力的感受器。肌梭的传入冲动对支配同一肌纤维的 α 运动神经元起兴奋作用，腱梭的传入冲动对支配同一肌纤维的 α 运动神经元起抑制作用。在肌肉受

到较强的被动牵拉时，肌梭兴奋并引发牵张反射（牵张反射的概念第十章还有详细介绍），使受牵拉的肌肉收缩力量增强；但当主动收缩的力量进一步增大时，则兴奋腱梭，从而抑制肌肉的收缩，调节肌肉收缩的力量和速度。

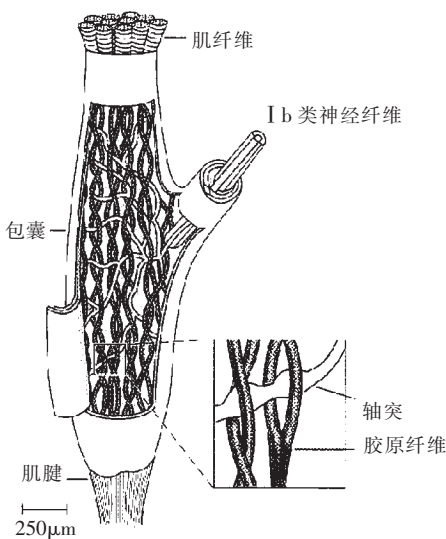


图 圆 显示腱梭感觉传入纤维与胶原纤维之间的关系

持续的、大强度的力量训练可使腱梭的敏感性降低，从而降低了腱梭对肌张力的限制，它是肌肉训练使力量素质提高的机制之一。

第五节摇肌肉中结缔组织及功能

肌肉作为器官，其构成除肌组织外，还有结缔组织、神经组织和丰富的血管网等。其中结缔组织是肌肉的重要成分，肌纤维必须通过结缔组织的支持和联结作用，才能附着于骨骼上，发挥

其收缩功能。结缔组织作为肌肉的弹性成分，在完成收缩的力学中起重要作用，在本章前面已介绍。

肌肉的结缔组织包括肌肉两端的肌腱和肌肉内部的肌内膜、肌束膜、肌外膜及肌节中的 在线和 酝线等。结缔组织共有的结构特点是细胞少，基质多。基质中含有胶原、弹性蛋白、蛋白多糖等。胶原是结缔组织最主要成分，它以胶原纤维的形式存在。下面把肌肉中肌腱和其他结缔组织分别介绍。

一、肌腱

肌腱是由排列规则而致密的粗大纤维束组成，原胶原分子是构成其的基本分子结构。通常五条平行的原胶原分子交错起来形成微纤维，许多微纤维组织起来形成胶原纤维，许多胶原纤维组成粗大的纤维束，并彼此扭绕成绳样。既有很强的牢固性，又有很大的抗牵引力。肌腱中胶原与弹性蛋白之比约为 $\frac{1}{100}$ 。运动时，肌腱要承受肌肉传来的全部应力，但它的横断面积又小于肌肉的横断面。说明肌腱的抗张应力大于肌肉的抗张应力，约为 $\frac{1}{100}$ 。肌腱变性较早，在 10 岁时肌腱内的中央动脉就会消失，它的营养完全要依靠周围的血液循环供应，肌肉做强烈地收缩时易引起受伤，甚至断裂。肌腱受损伤后有明显的修复能力。在损伤部位的腱膜中成纤维细胞分裂繁殖，并向伤面迁移，不久成纤维细胞产生胶原纤维，最后被新生的纤维包埋，遂变为腱细胞。

体育锻炼和运动训练对肌腱的影响是显著的。研究发现，经过长期的体育锻炼和运动训练，可使肌腱与骨结合区的结合能力增加，增强肌腱的抗张应力，能承受更大的拉力，还能增加肌腱中胶原纤维的含量，维持肌腱的强度和完整性，并减少肌腱随年龄增长发生断裂的可能性。但应当注意，运动中的滥用药物，也可能对肌腱产生重要的负面影响，如肾上腺皮质激素虽能治疗腱

鞘炎和滑囊炎，但也可使结缔组织萎缩，特别是直接注射到肌腱时更是如此，甚至引发肌腱断裂。

二、其他结缔组织

肌肉中除肌腱外的结缔组织有肌内膜、肌束膜、肌外膜、肌小节中的 在线、 线以及肌肉中血管壁上的结缔组织等，它们在结构上与肌纤维紧密相连，在功能上是肌肉的弹性成分的主要组成部分，在实现肌肉收缩力量和速度上起重要作用。

运动训练能使结缔组织的结构和代谢变化。研究发现，肌肉超负荷训练后，在引起肌肉肥大的同时，肌肉中的结缔组织也相应增加。在对动物的实践中，将趾肌和二腹肌在跟腱附着点上切断，使它们的工作全部由比目鱼肌独立承担。结果发现，比目鱼肌产生代偿性肥大，并在第二天，结缔组织中的成纤维细胞增加近两倍。在切断比目鱼肌腱后的 5 天，肌肉中的胶原蛋白含量增加，但胶原蛋白合成酶与胶原脯氨酸羧化酶的活性在第三天后就已增加。乳酸可促使新生胶原蛋白链中的脯氨酸残基羟化为羟基脯氨酸。可以认为肌肉中胶原蛋白的增加，是使肌肉中结缔组织增加的原因。又因为乳酸能刺激本胶原脯氨酸羧化酶的活性，在超负荷运动中，肌肉中的乳酸增加使胶原蛋白合成酶活性增加。

思考题

1. 试述神经—肌肉接头处兴奋的传递。

2. 试述粗细肌丝的结构特征。

3. 试述肌肉收缩过程。

4. 比较三种肌肉收缩形式的特点。

5. 试析张力—速度关系曲线的生理机制及其在运动实践的意义。

6. 试析长度—张力关系曲线的生理机制及其在运动实践的意义。

7. 试述肌肉的弹性成分在肌肉工作中的作用。

8. 为什么慢肌能坚持较长时间的工作？怎样训练才能发展慢肌？

为什么快肌能表现较大的收缩力量，怎样训练才能发展快肌？

试述肌梭和腱梭的结构和功能。

走出“腱反射”的误区

腱反射是指肌腱受到快速牵拉时发生的牵张反射，如膝跳反射、跟腱反射等。根据肌肉本体感受器的结构和功能特点，这种反射的感受器应该是包埋在肌组织里的肌梭。然而，由于该反射是外力直接作用于肌腱所引起的，很容易被误认为感受器是包埋在肌腱里的腱器官。许多教科书也这样认为，比如，高教出版社出版的《人体生理学》和《运动生理学》中也指出：“紧张性牵张反射的感受器是受牵拉肌肉中的肌梭”，“位相性牵张反射（腱反射）的感受器是肌肉中的腱器官。”教材中的这种分别指出两种反射的感受器，看来并不是印刷上的错误或笔误。这一观点多年来一直困扰着我们的教学。该反射感受器的确定，对准确地了解肌本体感受器的功能和理解指导肌肉训练的理论都有十分重要的意义。对此，本文从以下几方面谈谈个人的看法。

一、牵张反射的感受器不可能是腱器官

所谓“牵张反射”是肌肉受牵拉后产生收缩的反射活动，而腱器官是肌肉中能使肌张力下降的自身调节装置。比如当肌张力增大到一定程度时，它可产生对该肌运动神经元起抑制作用的神经冲动，以防肌张力过度发展。因此，腱器官的激活只能产生使肌肉收缩力下降的效应。对此，上述两教材也有同样的描述。《人体生理学》、《运动生理学》均指出“腱器官的传入冲动对同一肌肉的运动神经元起抑制作用”。既然如此，这种“受牵拉后肌肉发生收缩”的腱反射现象绝不是腱器官引起的。

二、外力作用于肌腱时拉长的不一定是肌腱

从表面上看，腱反射是因肌腱受到牵拉而引起的反射活动，似乎感受器理所应当地在肌腱内。其实，从解剖学角度就很容易看出，该反射的效应绝非腱器官所为。

肌肉和肌腱在结构上呈串联关系。当肌腱受到牵拉时，此牵拉作用会迅速传递与其串联的肌肉，亦即肌腱受牵拉的同时，肌肉也会受到牵拉。

肌肉和肌腱属于两种完全不同的组织，具有不同的伸展性。当两者同时受牵拉时，肌肉更容易变形。

所以在腱反射中肌腱虽受到快速牵拉，但首先被拉伸变形的是与其串联的肌肉，激活的是肌肉中的肌梭。而腱器官正处在不易伸长的肌肉腱中，不可能受到刺激。肌肉之所以能对快速牵拉肌腱做出“收缩”的反应，是因为被激活的肌梭能产生“让受牵拉肌肉收缩”的神经冲动。因此，在这里尽管肌腱受到快速牵拉，但该牵张反射是肌梭所为，与腱器官无因果关系。

三、腱反射活动只发生于松弛的肌肉

与肌腱相比，肌肉虽容易被拉伸变形，但当它在受牵拉前处于某种收缩状态，即肌肉产生了一定的抗拉伸力时，情况可能就不同了。牵拉的作用可能就会伸长肌腱，激活其中的感受器，可能还真成为一种以腱器官为感受器的反射活动，但产生的不是腱反射，而是使肌张力下降的效应。静力性拉伸剧烈运动后的张力性肌痉挛，就是利用这一反射活动使痉挛症状得以缓解的。所以腱反射一般都是牵拉松弛肌肉的肌腱引起的反射活动。如膝跳反射和跟腱反射都是叩击松弛肌肉的肌腱引起的反射活动。当股四头肌和小腿三头肌处于某种紧张状态时，决不会出现上述反射活动。

综上所述，笔者认为腱反射的感受器是受牵拉肌肉的肌梭，不是肌腱中的腱器官。为了准确地描述该反射的生理机制，以免将读者引入误区，应将其定义“快速牵拉肌腱发生的反射活动”改为“快速牵拉松弛（或静息）肌肉的肌腱时发生的牵张反射”，可能会更合适些，或许会有比笔者更有说服力的解释，愿与同行商榷。

摇摇我们拥有呼吸，也许不算什么，呼吸一旦停止，将会怎样？让我们一起来屏住呼吸，体验此时的感受……几十秒钟过去了，我们不得不开始呼吸，而且明显比平时更需要。我们的呼吸频率加快了，吸入的气量增加了，空气对于我们来说，此时显得格外重要。这就是为什么在浩瀚的太阳系中，只有被大气层包裹的地球是我们唯一的家园。我们利用存在于大气层中的氧气，不仅维持了我们的生命，而且能让我们从事各项体育活动。那么，这一系列过程是怎样进行的？让我们一起来了解呼吸过程吧。

第三章摇摇呼吸

我们机体在新陈代谢过程中，需要不断地从外界环境中摄取_气，同时排出_气。这种机体与环境之间的气体交换称为呼吸。呼吸是维持机体新陈代谢和其他功能活动必需的生理过程之一，一旦呼吸停止，生命也将终止。呼吸过程由三个相互联系的环节组成：外呼吸或肺呼吸，包括肺通气和肺换气；气体在血液中的运输；内呼吸（组织换气）。呼吸过程如图猿-员所示。

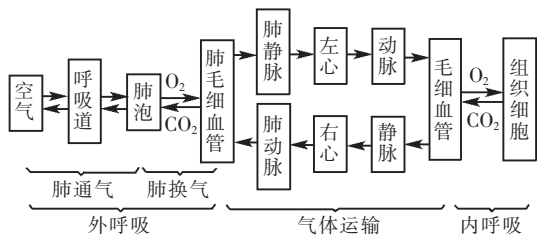


图 猿-猿呼吸全过程

第一节呼吸通气

肺通气是肺与外界空气之间的气体交换过程。实现肺通气的器官包括呼吸道、肺泡和胸廓等。呼吸道是沟通肺泡与外界的通道，肺泡是肺内气体与血液进行气体交换的主要场所，胸廓的节律性呼吸运动则是实现肺通气的动力。

一、肺通气原理

肺通气的动力

呼吸肌的舒缩是肺通气的原动力。呼吸运动是呼吸肌在神经系统调节下胸廓的节律性的舒缩。呼吸肌包括吸气肌和呼气肌。吸气肌是使胸廓扩大产生吸气动作的肌肉，主要有膈肌和肋间外肌；呼气肌是使胸廓缩小产生呼气动作的肌肉，主要有肋间内肌和腹壁肌。

在肺和胸廓之间有一密闭的胸膜腔，腔内的少量浆液使肺和胸廓紧密粘在一起。当吸气肌收缩引起胸廓扩大时，肺随之扩张，肺容积增大，肺内压暂时下降且低于外界大气压，空气顺此压差进入肺，造成吸气。当吸气肌舒张和（或）呼气肌收缩时，胸廓缩小，肺随之缩小，肺内压暂时升高且高于外界气压，气体

顺此压差流出肺，造成呼气。以膈肌运动为主的呼吸形式称为腹式呼吸，以肋间外肌运动为主的呼吸形式称为胸式呼吸。成人一般都是混合式呼吸。

胸膜腔在正常情况下，吸气和呼气时，其压力总低于大气压，称为胸内负压。胸内负压的形成是由于有两种力作用于胸膜腔：一种是使肺泡扩张的向外的肺内压，另一种是使肺泡缩小的向内的肺的弹性回缩力。这两种力的代数和即为胸膜腔内压：

胸膜腔内压 = 肺内压 - 肺弹性回缩力

在吸气末和呼气末，肺内压等于大气压，因而

胸膜腔内压 = 大气压 - 肺弹性回缩力

若以 0 个大气压为 0 位标准，则

胸膜腔内压 = - 肺弹性回缩力

由此可见，胸内负压是由肺的弹性回缩力造成的。吸气时，肺扩张，肺的弹性回缩力增大，胸内负压更低；呼气时，肺缩小，肺的弹性回缩力减小，胸内负压也减小。在正常情况下，肺都处于一定的扩张状态，总是表现出回缩倾向，胸膜腔内压因而为负。

胸内负压具有重要的生理意义：可保持肺的扩张状态，维持正常呼吸，还可使胸腔内壁薄且扩张性大的静脉和胸导管扩张，因而促进血液和淋巴回流。

二、肺通气的阻力

肺通气的阻力分为弹性阻力和非弹性阻力。弹性阻力包括胸廓和肺的弹性阻力，约占总阻力的 2/3；其余 1/3 是非弹性阻力，包括气道阻力、惯性阻力和组织的粘滞阻力。肺通气动力不断克服肺通气阻力，即可实现肺通气。

二、肺通气机能

肺的通气量取决于呼吸的深度，随着人体活动状态不同，会

发生相应的变化。

肺容量及其变化

肺在最大吸气之末所容纳的气体量，称为肺总容量。在呼吸运动中，肺总容量发生周期性变化，变化大小取决于呼吸深度。肺总容量由以下几部分组成。

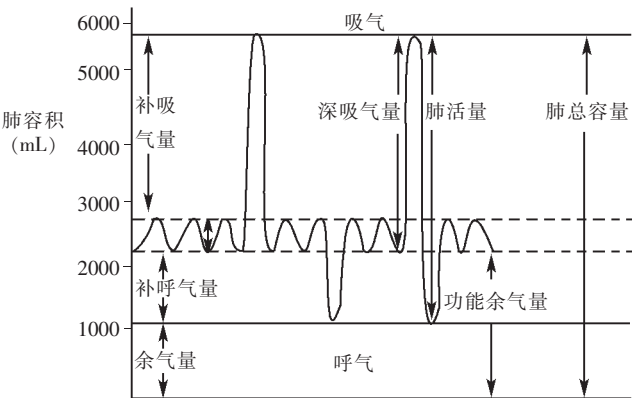


图 3-1 肺容量

每一呼吸周期中，吸入或呼出的气量，称为潮气量（呼吸深度）。正常成人平静呼吸时，潮气量约为 500 mL。运动时，潮气量增大。平静吸气之后，再用力吸入的气量称为补吸气量。正常成人约为 1200~1500 mL。平静呼气之后，再用力呼气所能呼出的气量称为补呼气量，约为 1200~1500 mL。最大呼气末，肺内余留的气量称为余气量，约为 1200~1500 mL。肺活量是最大吸气之后，用力呼出的最大的气量，是潮气量、补吸气量、补呼气量三者之和。肺活量与年龄、性别、体表面积、体位和呼吸肌力量强弱有关。肺活量反映了肺一次通气的最大能力，在一定程度上可作为肺通气功能的指标，简便易行，但呼气时间不受限制，不能充分反映肺通气功能的好坏。正常男性约为 2500~3000 mL。

女性约为 2500ml 。研究表明体育运动可使肺活量加大, 优秀的划船、游泳运动员可达 4000ml 。肺总量是肺所容纳的最大气量, 是肺活量与余气量之和。我国成年男子约为 3500ml , 女子约为 2500ml 。

肺通气量

单位时间内吸入或呼出的气量称为肺通气量。一般以一分钟为单位计量, 也称为每分通气量。每分通气量是呼吸频率与呼吸深度的乘积, 即为:

每分通气量 = 呼吸深度 $\times$ 呼吸频率

呼吸频率为每分钟的呼吸次数, 正常成人约为 $12\sim 16$ 次, 安静时, 潮气量为 500ml , 每分通气量大致为 $6\sim 8\text{L}$ 。每分通气量随年龄、性别、体位和代谢水平而异, 剧烈运动时可增至 $120\sim 150\text{L}$ 甚至更高。

最大通气量

最大通气量是指单位时间 (通常为 15s) 内尽量作快而深的呼吸运动时, 所能吸入或呼出的气量, 是估计人的最大生理负荷量的指标。一般只测定 15s 再乘以 4 即为测定者的最大通气量。

肺泡通气量

每次吸气所吸入的气体中, 一部分停留在上呼吸道至呼吸性细支气管以前的呼吸道内, 这部分气体不参与肺泡与血液之间的气体交换, 称为无效腔。因此, 真正到达肺泡进行气体交换的气量应减去无效腔, 即:

肺泡通气量 = (潮气量 - 无效腔量) $\times$ 呼吸频率

运动时深而快的呼吸可提高肺泡通气量, 但呼吸肌工作所消耗的能量增多, 只有在进行剧烈运动时才进行这种方式的呼吸。从提高肺泡气更新的速率考虑, 在一定范围内深而慢的呼吸比浅而快的呼吸有利。

表 猿 猿不同呼吸频率和潮气量时肺通气量和肺泡通气量			
呼吸频率 (次·皂造 ^原)	潮气量 (皂造)	每分通气量 (皂造)	每分肺泡通气量 (皂造)
猿	缘园	愿园园	缘园园
愿	愿园园	愿园园	远园园
猿园	园园	愿园园	猿园园

三、肺通气的调节

呼吸运动是呼吸肌的节律性运动，呼吸深度和呼吸频率随着机体活动水平发生相应的改变。运动时需 韵量增加，产生的 悦韵量也增加，肺通气量也增加，呼吸活动加强。呼吸肌是骨骼肌，受躯体运动神经的支配。呼吸运动随新陈代谢水平的改变，是通过神经和体液共同调节实现的。

呼吸运动的神经调节

中枢神经系统内调节呼吸运动的神经元相对集中的部位称为呼吸中枢。延髓是最基本的呼吸中枢，可分为吸气中枢和呼气中枢。延髓呼吸中枢具有自动节律性，引发节律性呼吸。呼吸运动还受大脑皮层、边缘系统、下丘脑、脑桥等的调节。大脑皮层可随意调节呼吸，如屏息、憋气、运动时根据步频调整呼吸节律等，而脑干对呼吸的调节是不随意的自主呼吸的调节。呼吸中枢也受来自呼吸器官本身的各种感受器传入冲动的反馈调节。

(员 呼吸肌本体感受性反射：呼吸肌的肌梭是本体感受器，接受肌肉牵张的刺激。当呼吸肌被拉长时，肌梭受到刺激而兴奋，反射性地使感受器所在肌肉收缩。当呼吸道阻力增加，则呼吸运动立即加强。运动时也可引起呼吸运动反射性加强。

(圆 防御性呼吸反射：在整个呼吸道上分布着迷走传入神经末梢，当它们感受到机械或化学刺激时，即引起防御性呼吸反射如咳嗽、喷嚏等。

化学因素对呼吸的调节

化学因素是指动脉血或脑脊液中的 PO_2 、 PCO_2 和 pH ，这些成分的变化会刺激化学感受器，从而调节呼吸运动。颈动脉体和主动脉体感受血液中 PO_2 、 PCO_2 和 pH 的变化，称为外周化学感受器。中枢化学感受器，感受脑脊液中 PCO_2 和 pH 的变化，对低 PO_2 很不敏感。

在一定范围内， PCO_2 浓度升高可刺激外周和中枢化学感受器，使延髓呼吸中枢兴奋，呼吸加快加强。血中 pH 浓度升高，使呼吸加快加强，反之呼吸减弱。低氧导致呼吸加深加快，肺通气量增加。

大脑皮层可使呼吸在一定时间限度内暂停，称为屏息。此时，肺泡气中 PCO_2 浓度升高， PO_2 浓度降低，血液中 PCO_2 和 pH 的浓度也随之升高，刺激外周和中枢化学感受器，使延髓呼吸中枢兴奋，反射性引起呼吸加快加强。屏息时间的长短与肺活量值呈直线相关。屏息试验是反映心肺功能和机体对缺氧适应能力的一个简易指标，是运动员综合体格检查项目之一。

四、运动时呼吸的变化及调节

运动时呼吸加深加快，肺通气量增大，潮气量可从安静时的 500ml 增加到 1500ml ，呼吸频率可从 $12\sim 16$ 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ 增加到 $20\sim 30$ 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ ，通气量可增加到 $150\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$ 以上。运动中肺通气量变化的规律为：运动强度较低的训练时，主要是潮气量的增加；运动强度增加到一定程度，主要增加呼吸频率来增加肺通气量。运动时呼吸的调节包括神经和体液两方面，运动时体温升高，可提高呼吸中枢对 PCO_2 的敏感性。

第二节摇肺摇换摇气

肺泡与肺泡毛细血管血液之间的气体交换称为肺换气，血液与组织细胞之间的气体交换称为组织换气。它们都是通过扩散方式实现的。

一、气体交换的动力和过程

气体交换的动力是分压差。分压是指混合气体中各成分气体所具有的压力，可用混合气体的总压力乘以各组成气体所占的容积百分比计算。

表 猿 圆 摇 安 静 时 肺 泡 气 、 血 液 和 组 织 内 P_{O_2} 和 P_{CO_2} (单位：kPa)

分压	肺泡气	静脉血	动脉血	组织
P_{O_2}	13.3	5.3	10.6	10.6
P_{CO_2}	5.3	6.1	5.3	6.1

肺泡气中 P_{O_2} 分压高于静脉血， P_{CO_2} 分压低于静脉血。因此， P_{O_2} 由肺泡气向肺泡毛细血管扩散， P_{CO_2} 由肺泡毛细血管向肺泡内扩散。经肺换气后，肺泡毛细血管内的静脉血变为动脉血。血液流经组织时，组织中 P_{O_2} 分压低于动脉血， P_{CO_2} 分压高于动脉血， P_{O_2} 由血液向组织内扩散， P_{CO_2} 由组织向血液扩散，经组织换气后动脉血变成静脉血。

二、影响气体交换的因素

圆 摇 气 体 扩 散 速 度：气体扩散的速度快，气体交换也快，反之则慢。气体扩散速度与气体溶解度、分子量和分压差有关。综合上述因素， P_{O_2} 的扩散速度是 P_{CO_2} 的 圆 倍。运动时肺泡膜两侧的 P_{O_2} 和 P_{CO_2} 分压差增大，肺换气速度也增加。

呼吸膜：肺换气时 **氧** 和 **二氧化碳** 必须通过呼吸膜。呼吸膜很薄，通透性极大，安静时呼吸膜的扩散面积约为 **70m²**，运动时肺毛细血管开放数量增多，可达 **100m²**，气体扩散容量明显增多，如图 **猿-猿** 所示。

通气血流比值：通气血流比值是指肺泡通气量与肺灌血量之间的比值。当此值保持在 **0.84** 时，气体交换才能保持最高的效率。此值升高或降低都意味着气体交换不能充分进行。

温度：气体分子的扩散速度与温度成正比。剧烈运动时，机体产热增加，大于散热，体温暂时升高，气体扩散速度增加。

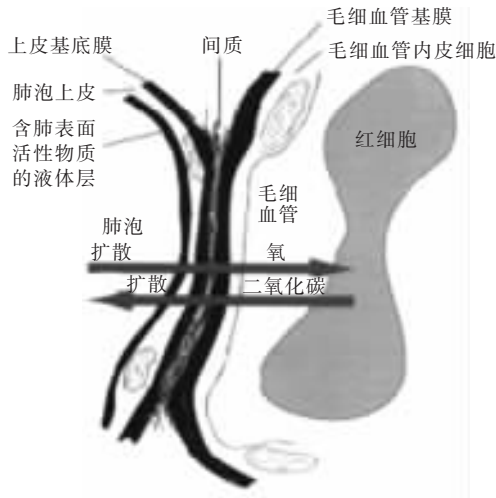


图 **猿-猿** 呼吸膜断面的超微结构示意图

第三节 运动时合理呼吸

运动时进行合理的呼吸，有利于保持内环境的基本恒定，有利于提高训练效果和充分发挥人体机能，以创造优异成绩。可见

合理的呼吸方法成为运动技能的有机组成部分。教师应像传授动作技术一样，培养学生掌握各项运动特点的呼吸技巧。以下是几种改善呼吸方法的原则。

一、减小呼吸道阻力

正常人安静时由呼吸道实现通气。通过呼吸道的呼吸，达到空气净化、湿润、温暖或冷却（当气温高于体温时）的作用。但在剧烈运动时，为减少呼吸道阻力，人们常采用以口代鼻，或口鼻并用的呼吸。其利有三：（1）减少肺通气阻力，增加通气；（2）减少呼吸肌为克服阻力而增加的额外能量消耗，推迟疲劳出现；（3）暴露满布血管的口腔潮湿面，增加散热途径。据研究，运动时增加口的通气，肺通气量可由仅用鼻呼吸的 $10\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ，增至 $20\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。但应注意，在严寒季节里进行运动，张口不宜过大，尽可能使吸入空气经由口腔加温后再通过咽喉和气管入肺。

二、提高肺泡通气效率

提高肺通气量的方法，有增加呼吸频率和增加呼吸深度两种方式。据研究，呼吸频率总是随着运动强度的增加而增加，并经 $10\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 达到稳定状态。而呼吸深度和肺通气量则须经 $10\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ 才达到稳定状态。剧烈运动时，呼吸频率和肺通气量迅速上升，而呼吸深度反而变浅。运动时（尤其是耐力运动），期望在吸气时肺泡腔中有更多的含氧新鲜空气，呼气时能呼出更多的含二氧化碳的代谢气体，因此，提高肺泡通气量比提高肺通气意义更大。表浅的呼吸只能使肺泡通气量下降，新鲜空气吸入减少，这是由于解剖无效腔存在的缘故。而深呼吸能吸入肺泡腔中更多的新鲜空气，使肺泡气中的空气新鲜率提高， $V_{\text{A}}/V_{\text{T}}$ 也随之提高，最终导致 V_{A} 的扩散量增加。但过深过慢的呼吸也会限制肺通气量

进一步提高，并可导致肺换气功能受阻。上述两种情况均能增加呼吸肌的额外负担，加大其 $\dot{V}_{O_2}$ 的消耗，容易导致疲劳。

有意识地采取适宜的呼吸频率和较大的呼吸深度是很重要的。一般来讲，径赛运动员的呼吸频率以每分钟不超过 30 次为宜，游泳运动员即使有特殊需要，也不宜超过每分钟 20 次。那么，强调运动时的深呼吸，是以偏重深吸气为好还是以偏重深呼气为好？当吸入气一定时、肺泡气的新鲜率的大小取决于呼气末或吸气前存在于肺泡腔中的功能余气量。功能余气量越少，吸入新鲜空气越多，肺泡气中的 $\dot{V}_{O_2}$ 就会越高。运动中有效减少肺泡腔内功能余气的方法是尽可能地做深呼吸动作，从而保证机体有更多 $\dot{V}_{O_2}$ 的摄入。

因此，运动时（特别是在感到呼吸困难、缺氧严重的情况下）采用节制呼吸频率、在适当加大呼吸深度的同时注重深呼吸的呼吸方法，更有助于提高机体的肺泡通气量。例如：人在跑步或游泳时因体内过多的负氧而出现“极点”现象，为有效克服或缓解“极点”，提高 $\dot{V}_{O_2}$ 的摄入量，应有意识地保持有节奏的深吸气与深呼气。游蛙泳时的正确呼吸应该是在水中做深呼吸，将气吐尽，然后再抬头出水面吸气。

三、与技术动作相适应

呼吸的形式、时相和节奏等，必须适应技术动作的变换，必须随运动技术动作而进行自如地调整，这不仅为提高动作的质量、为配合完成高难度技术提供了保障，同时也能推迟疲劳的发生。这对于从事投掷、体操、技巧、武术、跳水及花样滑冰等项目的运动员来说，尤显重要。

呼吸形式与技术动作的配合

呼吸的主要形式有胸式呼吸和腹式呼吸。运动时采用何种形式的呼吸应根据有关技术动作的运用而又不妨碍正常呼吸为原

则，灵活转换。

通常有些技术动作需要胸肩带部的固定，才能保证造型，那么这时的呼吸形式应转成为腹式呼吸。如体操中的手倒立、肩肘倒立、头手倒立、吊环十字悬垂和下“桥”动作等需胸肩带部固定的技术动作，采用腹式呼吸就会消除身体重心不稳定的影响；而另一些技术动作需要腹部的固定，则要转为胸式呼吸，如上固定或下固定时的屈体静止造型动作、“两头起”的静止造型动作等，采用胸式呼吸有助于腹部动作的保持和完成。

圆呼吸时相与技术动作的配合

通常非周期性的运动要特别注意呼吸的时相，应以人体关节运动的解剖学特征与技术动作的结构特点为转移。

一般在完成两臂前屈、外展、外旋、扩胸、提肩、展体或反弓动作时，采用吸气比较有利；在完成两臂后伸、内收、内旋、收胸、塌肩、屈体或团身等动作，采用呼气比较顺当。如：“卧躺推杠铃”练习，杠铃放下过程（臂外展、扩胸）应采用吸气，杠铃推过程（臂内收、收胸）应采用呼气；“仰卧起坐”练习，仰卧过程（展体）采用吸气，起坐过程（屈体）采用呼气；“俯卧撑”练习，俯卧过程（两臂外展、胸扩展）采用吸气；撑起过程（两臂内收、胸内收）采用呼气。但也有例外，如杠铃负重蹲起时的展体，改为呼气较好，这时应首先以考虑发力和完成技术动作为主，然后再考虑吸气与呼气的时相协调。

圆呼吸节奏与技术动作的配合

通常，周期性的运动采用富有节奏的、混合型的呼吸将会使运动更加轻松和协调，更有利于创造出好的运动成绩。如周期性的跑步运动，长跑宜采用圆-源个单步一吸气、圆-源个单步一呼气的方法进行练习。短跑常采用“憋气”与断续性急促呼吸相结合，即每“憋气”圆-源个单步（或更多）后，做一次员秒以内完成的急骤深呼吸。周期性游泳运动的呼吸节奏，蛙泳可采

用一次划手、一次蹬腿、一次头出水面呼吸的组合；爬泳可采用两侧呼吸，即三次划臂（打腿多少次数以个人特点定），完成一次侧换气的组合。

四、合理运用憋气

或深或浅的吸气后，紧闭声门，做尽力地呼气动作，称为憋气。通常在完成最大静止用力的动作，需要憋气来配合。如大负荷的力量练习、举重运动、角力、拔河、“掰手腕”等。憋气对运动良好的作用有：（员 憋气时可反射性地引起肌肉张力的增加，如人的臂力和握力在憋气时最大，呼气时次之，吸气时较小；（圆 可为有关的运动环节创造最有效的收缩条件，如短跑时憋气一方面可控制胸廓起伏，使快速摆臂动作获得相对稳定的支撑点，另一方面又避免腹肌松弛，为提高步频及步幅提供更强劲的牵引力。

人们能意识到憋气对运动有利的一面，但往往忽视憋气还会对人体产生负面的作用。憋气的不良影响主要有：（员 长时憋气压迫胸腔，使胸内压上升，造成静脉血回心受阻，进而心脏充盈不充分，输出量锐减，血压大幅下降，导致心肌、脑细胞及视网膜供血不全，产生头晕、恶心、耳鸣和眼黑等感觉，影响和干扰了运动的正常进行。（圆 憋气结束，出现反射性的深呼吸，造成胸内压骤减，原先潴留于静脉的血液迅速回心，冲击心肌并使心肌过度伸展，心输出量大增，血压也骤升，这对心力储备差者十分不利。特别是儿童的心脏因承受能力低而易使心肌过度伸展导致松弛，对老年人因血管弹性差、脆性大而容易使心、脑、眼等部位的血管破损，带来严重的不良后果。

由此看来，憋气对运动有利有弊。有些时候需要通过奋力和憋气才能取得最后的胜利，那么这样的憋气是有必要的，是不可避免的。正确合理的憋气方法应该是：（员 憋气前的吸气不要

太深；(圆) 结束憋气时，为避免胸内压的骤减，使胸内压有一个缓冲、逐渐变小的过程，呼出气应逐步少许地、有节制地从声门中挤出，即采用微启声门、喉咙发出吼声的呼气；(猿) 憋气应用于决胜的关键时刻，不必每一个动作、每一个过程都做憋气。如跑近终点的最后冲刺、杠铃举起及摔跤制服对手的一刹那，可运用憋气。对运动员和健康人来说，一般的憋气也属于生理现象，如排便动作。有时还可以把采用适当的憋气作为提高心肺功能的手段之一，只是要遵守循序渐进的规律而已。

思考题

1. 什么是呼吸？呼吸过程由哪几个环节构成？
2. 什么是憋气？憋气有何利弊？运动过程中怎样合理地利用憋气？
3. 为什么运动时最好采用深而慢的呼吸方式？
4. 气体在肺泡内是怎样进行交换的？影响因素有哪些？
5. 运动训练对肺通气和肺换气功能有何影响？
6. 肺总容量由哪几个部分组成？
7. CO_2 、 O_2 和 H^+ 等化学因素是怎样调节呼吸过程的？

“吐气开声”话投掷发力

“吐气开声”是武术运动中用于发力的一种特殊的呼吸形式，即发力前先吸气后闭气以待，随发力的同时微启声门、用力将体内气体呼出、发出喊声的用力方式。据武术界认为，此“声”不仅可用来增添士气、威胁对方，更重要的是能“以声催力”。在投掷项目中，我们也常见到许多运动员在发力时大喊一声，同时也有不少无声发力的运动员。为什么投掷发力时有人发声，有人不发声？此声能否起到武术界中声称的“发声催力”的效果？搞清这些问题无疑会对投掷运动有着重要的指导意义。

一、投掷发力时的“吐气开声”是无意识的

生理学认为，人在做极限用力时都会反射地引起“憋气”。所谓憋气，

是指吸气后，紧闭声门，尽力作呼气动作，使肺内气体无法呼出的特殊动作。因为，这种反射性的憋气动作能使胸内压和腹内压增高，为附着在胸廓和骨盆的肌群提供巩固的支撑条件。而投掷运动员的发力是在这种憋气用力的基础上，还要做一系列强有力的收胸、收腹动作，使胸廓进一步缩小，胸内压会进一步增强。这种骤增的肺内压可能会冲开声门，吐出气体，振动声带，发出喊声。

可见，投掷发力时的发声和不发声与当时的动作强度密切相关。亦即发力动作的力量越大、速度越快，胸内压的增高就越快，肺内气体冲开声门的可能性越大，发出喊声的可能性也就越大，音量亦越高。因此，那些爆发力较强的高级运动员在投掷中的吼叫声是显而易见的。当然，发声与不发声还取决于关闭声门的肌肉力量的大小。当关闭声门的肌肉力量大于增高的肺内压时，其发力动作也就不会伴随着发声。所以，投掷发力时的发声与不发声不能作为发力效果的唯一标志。

由此可见，投掷发力时的喊声，并不像武术里的“吐气开声”。此时声门的启开是被突增的肺内压冲击开的，为被动后开。所以，投掷运动时的“吐气开声”常常是无意识的。

二、“吐气开声”能“以声催力”

如上所述，投掷发力伴随发出喊声是憋气用力所致。许多研究都证明，使用憋气用力可反射性地引起肌张力加强。不仅如此，发声前的憋气还可使胸腹内压增高，为附着在胸廓和骨盆的肌群提供巩固的支撑条件，给肩带肌和髂带肌这些投掷用力的主要肌群创造有利的收缩条件。所以讲，“吐气开声”是肌肉力量得以充分发挥的反应。

为了进一步证明投掷时的这种“吐气开声”能“以声催力”，笔者曾以省运会投掷比赛为依据进行观察发现，喊声用力的投掷选手成绩明显高于无声发力的运动成绩；通过握力、掷实心球、掷标枪的喊声用力和无声用力对比实验发现，亦是喊声用力的用力效果好。

从心理学角度看，喊声用力可调动人体的“增力情绪”，能降低大脑皮质的内抑制作用，使肌肉力量明显增加；从生理学角度看，喊声用力可使大脑皮质的兴奋性暂时提高，在皮质中产生的兴奋可使原来抑制的神经细胞出现“解除抑制”现象，可将肌肉力量的潜力挖掘出来。

如上所述,投掷发力伴随发出喊声时的声门是被强气流冲开的,是胸压骤增的结果。若胸内压达不到一定的临界值,声门是不会启开的,肺内气体将无法呼出,而形成“憋气”。有些投掷选手在发力时没有喊声,采用的都是这种憋气用力。尽管憋气用力也能为肌肉收缩提供支撑条件,增大肌力,但憋气不能及时地将气体呼出,势必导致静脉心血液减少,心输出量降低,增加心脏负担,出现暂时性脑贫血,会出现头晕、耳鸣、眼冒金花等不适感。这样长期下去将会对心肺健康不利。喊声发力时,肺内可随呼出一定量的气体,使胸内压迅速降低,促进静脉回流心脏,免除由憋气而产生的不良影响。因此,“吐气开声”的投掷发力比无声的憋气发力更符合生理卫生原则。

选自《田径》 圆国圆怨

血液是孕育生命的摇篮，有了它，人类得以繁衍生息，代代相传。血管就是分布于我们体内的河流，是我们机体补给营养、排出代谢废物的重要通道。一旦这河流中红色的“河水”——血液发生变化，就会出现机体功能的变化，甚至危及生命。那么，血液究竟是什么？由什么成分组成？有什么作用？

第四章 血液

第一节 血液概述

一、体液的概念

血液是在心血管系统中循环流动着的液体组织，由血浆和血细胞两部分组成，在实现体内物质运输及维持机体内环境稳定中起重要的作用。

人体内含大量的液体，称为体液，约占体重的 80%。其中大部分存在于细胞内，称为细胞内液，是构成细胞质的基本部分，约占体重的 70%。小部分存在于细胞外的体液，称为细胞外液，是细胞直接生活的环境，即内环境。它包括存在于组织间隙中的组织液和存在于心血管系统中的血浆等，分别占体重的 15% 和 5%。

人体绝大多数细胞与外界隔离，生活在细胞外液中，即内环境中。只有通过细胞外液，才能与外界环境之间进行物质交换。

血浆流经全身，形成了全身的体液联系，是沟通各部分组织液以及和外界环境进行物质交换的重要的中间环节。

人体生存的外界环境经常变化，内环境也会随之有一些变化，但人体内有多种调节机理，使内环境中的理化因素在不超出正常生理范围的情况下变动，并保持动态平衡，称为稳态（内环境相对恒定）。稳态是机体自由独立生活的必要条件，此时新陈代谢才能正常进行。

二、血液的理化特性

血液中有大量红细胞，由于其主要成分血红蛋白是一种含铁的蛋白质，故呈红色。正常人全血的比重为 $1.050 \sim 1.060$ 。由于血液中各种物质的分子在运行时相互摩擦产生阻力，使血液具有很大的粘滞性，全血的粘滞性约为水的 17 倍。长时间剧烈运动，机体大量出汗，血液被浓缩，血细胞数量相对增多，比重和粘滞性增加。血浆的 pH 值约为 $7.35 \sim 7.45$ 。血浆渗透压约为 300 mmHg 或相当于 270 个大气压，包括血浆晶体渗透压和血浆胶体渗透压。血浆晶体渗透压主要由血浆中的晶体物质形成，晶体物质分子量小，颗粒数量多，产生的渗透压高。血浆胶体渗透压主要由血浆蛋白形成，血浆蛋白分子量大，颗粒数量少，产生的渗透压低。但血浆蛋白分子大，不易透过毛细血管壁，血浆胶体渗透压对维持细胞内外水平衡极为重要。

第二节 血液的组成

血液由血浆和血细胞两部分组成。人体内血液总量约占体重 $8\% \sim 10\%$ ，一般说来，男性高于女性，幼儿高于成人，体格健壮者高于瘦弱者。血浆占全血量的 $55\% \sim 60\%$ ，血细胞占 $45\% \sim 55\%$ ，如图 4-1 所示。

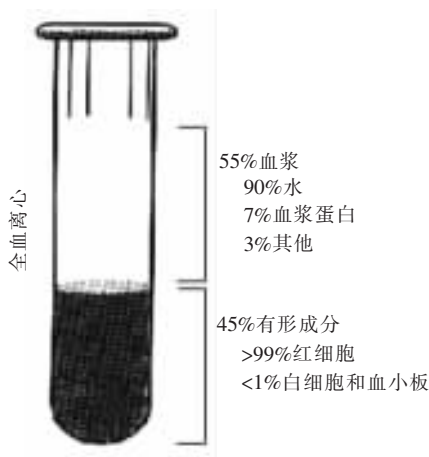


图 源 员 血液的组成

一、血浆

血浆是一种含有多种溶质的水溶液，其中水占 怨豫 ~ 怨圆豫，溶质中血浆蛋白占绝大部分，其余为小分子的有机物。

员 水

血浆中的水是各种物质的溶剂，参与维持渗透压，维持体液平衡，水的比热大，可以吸热、散热，有助于正常体温的维持，还可运输营养物质及代谢产物。

圆 血浆蛋白

血浆蛋白是血浆中多种蛋白质的总称。其中白蛋白最多，球蛋白次之，纤维蛋白原最少。血浆蛋白的主要功能是：作为多种代谢物质和激素的载体，可缓冲内环境的 费 值；免疫球蛋白和补体参与机体的免疫功能；参与血液凝固和纤溶过程；维持血浆胶体渗透压。

猿 非蛋白氮和其他溶质

非蛋白氮是指血浆中除蛋白质以外的含氮物，包括尿素、肌酐、氨基酸，多肽和胆红素等。不含氮的小分子为有机物、葡萄糖、脂类、乳酸等。绝大多数无机盐以离子形式存在于血浆中，主要离子有 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 等，这些离子的主要功能是：维持晶体渗透压；维持体液酸碱平衡；维持组织细胞的兴奋性；某些离子是体内酶活性的激活剂。

大量或剧烈的运动训练可使血浆中化学成分发生变化。排汗使血浆中水分和无机盐减少，血细胞相对增多，血液变得黏稠。而长期进行慢跑锻炼可降低血浆中低密度脂蛋白浓度，升高高密度脂蛋白浓度，预防动脉粥样硬化，降低冠心病发病率，是中老年人比较有效的防病健身方法。

二、血细胞

红细胞

红细胞是血液中数量最多的一种血细胞，约占血细胞总数的 45% 。正常人体成熟红细胞无细胞核，大多呈双凹圆盘形，周边稍厚，直径约为 $7\mu\text{m}$ 。红细胞这种特有的形态使其具有较大的表面积，且在通过口径小于其直径的血管时可发生暂时形变。

红细胞在全血中所占的容积百分比称为红细胞比容。我国男子红细胞比容为 $40\% \sim 50\%$ ，女子为 $35\% \sim 45\%$ 。成年男子红细胞平均数为 $4.5 \times 10^{12}/\text{L}$ ，范围 $(4.0 \sim 5.0) \times 10^{12}/\text{L}$ ，女子红细胞平均数为 $3.8 \times 10^{12}/\text{L}$ ，范围 $(3.5 \sim 4.5) \times 10^{12}/\text{L}$ 。红细胞中含有血红蛋白（ Hb ），是运输 O_2 和 CO_2 的重要载体。我国成年男子血红蛋白浓度为 $120\text{g/L} \sim 160\text{g/L}$ ，平均 140g/L ；女子为 $110\text{g/L} \sim 150\text{g/L}$ ，平均 130g/L 。红细胞数与血红蛋白浓度成正比。运动员在过度训练早期或疲劳时可出现运动性贫血。血红蛋白值可作为评价运动员机能的指标之一。

长期居住高原者，红细胞数与血红蛋白增多，运动训练也会

使其发生变化。高原环境中的低压、低氧对人体生理功能和运动能力会产生一系列影响。高原训练时，人体要经受两种负荷：一是运动缺氧的负荷，这在平原也有；另一种是高原缺氧的负荷，这是平原没有的。这两种负荷相加，则对机体造成比平原更深刻的缺氧刺激，使身体机能潜力得到调动。通过对运动加缺氧的适应，加强了心血管和呼吸功能，使氧运输能力、细胞代谢效率、肺和肌肉的血管分布增加等。高原训练能逐渐改善耐力项目和长时间运动的能力。高原缺氧促使体内促红细胞生成素（ EPO ）的增长。 EPO 是由肾脏分泌的，具有促进骨髓中红细胞系增值、分化、成熟和释放的一种激素，还可维持血中红细胞数和血红蛋白的稳定状态。红细胞数增加可提高机体的摄氧能力，从而提高运动成绩；红细胞比容增高，但总血容量不变，血液浓度增加，血流速度减慢。运动员可通过使用 EPO 以及采用“自身血回输”法技术，使体内红细胞数量增多，来增强运动能力（主要是耐力运动的成绩），但对机体会产生许多不良反应。

红细胞膜上具有一些特异的糖蛋白，在凝集反应中起抗原的作用，称之为凝集原，能与之起反应的抗体为凝集素。由于凝集原的不同，因而表现出不同的血型。最常用的是 ABO 血型系统，凡红细胞膜上有 A 凝集原，血清中有抗 B 凝集素的，其血型称为 A 型；凡红细胞膜上有 B 凝集原，血清中有抗 A 凝集素的，其血型称为 B 型；凡红细胞膜上既有 A 凝集原又有 B 凝集原，血清中无抗 A 抗 B 凝集素的，其血型称为 AB 型；凡红细胞膜上两种凝集原均无，血清中有抗 A 抗 B 两种凝集素的，称为 O 型。 ABO 血型为先天遗传。正确测定血型可保证输血安全。

四四 白细胞

白细胞是无色、有核的血细胞。正常成人白细胞总数为 $(4.0 \sim 10.0) \times 10^9/L$ 。白细胞体积较红细胞大，根据其形态、功能和来源可分为粒细胞、单核细胞和淋巴细胞。粒细胞中有不同的

嗜色颗粒，又可分为中性粒细胞、嗜酸性粒细胞和嗜碱性粒细胞三种。同一个体在不同的状态下，如午后、餐后、运动时、女子经期和分娩时，白细胞数量会增多。白细胞与机体的保护、防御等功能有关。

表 源- 员摇我国健康成人白细胞总数和分类计数百分比

指标	平均数	正常变动范围
白细胞总数	远圆园伊员园 ⁹ 个/升	猿~ 缘园伊员园 ⁹ 个/升
中性粒细胞	缘园%~ 苑园%	源园%~ 苑园%
嗜酸性粒细胞	园%~ 源%	园%~ 怨%
嗜碱性粒细胞	园%~ 猿%	园%~ 园%
淋巴细胞	猿园%~ 肆园%	贰园%~ 源园%
单核细胞	源%~ 苑%	园%~ 员园%

肆血小板

血小板体积很小，直径约为 圆~ 猿μ皂。健康成人血液中血小板数约为 (员圆园~ 肆园园 伊员园⁹个/升)，餐后、运动时、组织损伤和妇女分娩时数量暂时增加，女子经期会减少。血小板的功能是促进止血、加速凝血和保护血管内皮细胞的完整性。

第三节摇血液的功能

一、运输功能

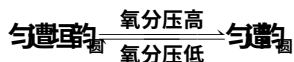
运输是血液的基本功能，血液可将 韵、营养物质（如葡萄糖、氨基酸、脂肪酸、甘油、水、维生素和无机盐等）运送至组织细胞以供利用；同时将组织细胞代谢产生的 憊等代谢产物运至排泄器官排出体外。血液在体液调节中也发挥重要的作用，可将激素、酶等物质输运至需要的部位。血液是液态的结缔

组织，比热较大，在全身流动时可将深部组织器官产生的热量运送到体表散发，以维持体温相对恒定。充当运载工具的有血浆中的水分、血浆蛋白和血红蛋白。我们重点介绍血液运载 O_2 和 CO_2 的功能。

O_2 在血液中的存在形式

O_2 和 CO_2 在血液中有两种存在形式，即物理溶解和化学结合。 O_2 物理溶解量很少，仅占 O_2 总量的 1%，其余 99% 与血红蛋白结合形成氧合血红蛋白进行运载。

血红蛋白（ Hb ）在 PO_2 较高时结合大量的 O_2 形成氧合血红蛋白（ HbO_2 ），这一过程称为氧合。在此过程中，血红蛋白中的 Fe^{2+} 与氧结合并没有被氧化为 Fe^{3+} ，故称氧合。氧合血红蛋白呈鲜红色。在低 PO_2 时氧合血红蛋白又能迅速把氧释放出来，成为还原血红蛋白（ Hb ），这一过程称为氧离。其反应如下：



在正常生理情况下，静脉血流经肺泡毛细血管时， O_2 由肺泡扩散进入肺泡毛细血管， O_2 很快与血红蛋白结合形成氧合血红蛋白（ HbO_2 ），静脉血变为动脉血。当动脉血流经组织时，氧合血红蛋白又能迅速解离出氧，以供组织利用。同时组织中产生的 CO_2 扩散进入血中，动脉血变为静脉血。

血红蛋白氧饱和度是指血液中 Hb 与氧结合的饱和程度，主要受氧分压决定。在高氧分压时，所有 Hb 与氧结合，此时可认为 Hb 的氧饱和度达 100%；当氧分压降低时， Hb 的氧饱和度下降。氧容量是指血液中 Hb 的氧饱和度达到 100% 时，每 100ml 血液中所结合的氧量。氧容量受 Hb 浓度的影响。实际上，血液中 Hb 所结合的氧并未达到 100%，故把 100ml 血液实际结合的氧量称为氧含量。人体肌肉中所含的肌红蛋白与血红蛋白性质相

似，也可结合氧和解离氧，只是解离时氧分压更低。

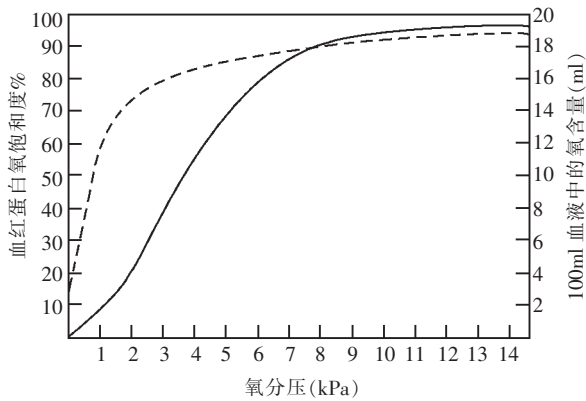


图 源- 氧合血红蛋白解离曲线
(虚线表示肌红蛋白解离曲线)

氧离曲线

氧离曲线或氧合血红蛋白解离曲线是表示血氧饱和度与血氧分压之间关系的曲线。该曲线既表明不同氧分压时氧与血红蛋白结合情况，也反映不同氧分压时的解离情况。氧离曲线呈 S 形，具有很重要的生理意义。

(一) 氧离曲线上段。即氧分压在 10.6~13.3 kPa 的段落，此时氧分压处于较高水平，认为是氧与血红蛋白结合的部分，这段曲线较平坦，表明氧分压的变化对血氧饱和度影响不大。例如，当氧分压为 10.6 kPa 时，血氧饱和度为 90%；如将氧分压提高到 13.3 kPa，血氧饱和度为 95%，只增加了 5%；反之，如氧分压下降到 10.6 kPa，血氧饱和度为 90%，只下降了 5%。因此，即使吸入气或肺泡气中氧分压有所下降，但只要不低于 10.6 kPa (这在平原地区健康人即使在剧烈运动时也不至出现)，血氧饱和度就能保持在 90% 以上，血液仍可携带足够的氧，不

至发生明显的低血氧症。

(圆) 氧离曲线中段。即氧分压在 10.67~13.33 kPa 的段落。此段曲线较陡, 是 HbO_2 释放 O_2 的部分。在此范围内氧分压稍有下降, 便会引起 HbO_2 饱和度明显下降。其生理意义在于保证正常状态下组织细胞的氧的供应。当动脉血流经组织时, 血氧饱和度下降了 10%, 动静脉血氧含量差为 1.34 ml·100ml⁻¹, 表明有 10% 的 HbO_2 解离出 O_2 , 血液向组织提供了 1.34 ml·100ml⁻¹ 的 O_2 , 变为了静脉血。

每升动脉血液流经组织时, 释放出的 O_2 量占动脉血氧含量的百分数, 称为氧利用率。计算公式如下:

$$\text{氧利用率} = \frac{\text{动脉血氧含量} - \text{静脉血氧含量}}{\text{动脉血氧含量}} \times 100\%$$

(猿) 氧离曲线下段。即氧分压在 13.33~10.67 kPa 的段落。是氧离曲线坡度最陡的一段, 即氧分压稍有下降, HbO_2 即解离出大量的 O_2 。当人体进行剧烈运动时, 肌肉组织代谢加强, 耗氧量明显增多, 氧分压急剧下降, 这时 HbO_2 解离出更多的 O_2 , 血氧饱和度降至更低。此段曲线表明氧的贮备能使机体适应组织活动增强时对氧的需求。

影响氧离曲线的因素

Hb 与氧的结合与解离受多种因素影响, 也使 Hb 对氧的亲合力发生变化, 通常用 P_{50} 表示 Hb 对氧的亲合力。 P_{50} 是指 HbO_2 饱和度达到 50% 时的 P_{O_2} , 如图 9-1 所示, 安静时 P_{50} 为 3.73 kPa (用 P_{50} 表示); P_{50} 增大, 表明 Hb 对 O_2 的亲合力下降, 需要更高的 P_{O_2} 才能使 HbO_2 饱和度达到 50%, 氧离曲线右移; 反之, P_{50} 降低, 表示 Hb 对 O_2 的亲合力增强, 达到 50% 的 HbO_2 饱和度所需的 P_{O_2} 降低, 氧离曲线左移。

影响 P_{50} 的因素有血液的 pH 值和 P_{CO_2} 、温度和有机磷化物。

运动时组织产生 CO_2 和 H^+ 增加, pH 降低 (酸度增加), 意味着同样的 PO_2 条件下, 有更多的氧释出, 供肌肉利用, 这是一种良好的适应性反应。酸度对 Hb 亲和力的这种影响称为波尔效应。波尔效应既可促进肺泡毛细血管血液的氧合, 又有利于组织毛细血管释放氧。温度升高, 氧离曲线右移, 使氧释放增多; 红细胞中含有多种有机磷化合物, 特别是 2,3-二磷酸甘油酸 (2,3-DPG), 2,3-DPG 浓度升高, Hb 对氧亲和力降低, 使氧离曲线右移。2,3-DPG 是无氧代谢的产物, 此时可使肌红蛋白释放出更多的氧。

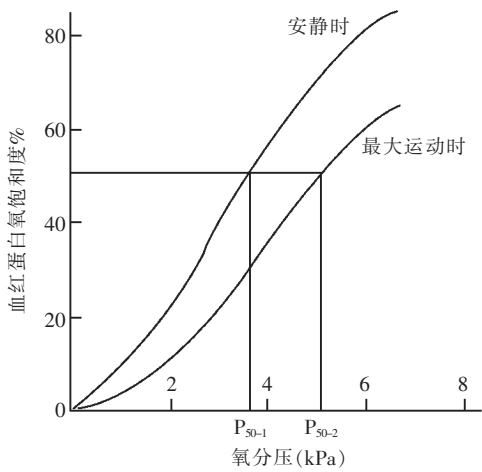


图 4-1 运动对 Hb 的影响

氧运输 CO_2 的功能

CO_2 的物理溶解量占 10%, 另外 90% 以化学结合形式运载。其中碳酸氢盐占 85%, 氨基甲酸血红蛋白占 15%。

(1) 碳酸氢盐形式。组织代谢产生的 CO_2 进入血浆后, 部分溶解于血浆; 大部分进入红细胞, 在碳酸酐酶的催化下与水结

合形成碳酸，又迅速解离为 H^+ 和 HCO_3^- ，如图 源-源所示。

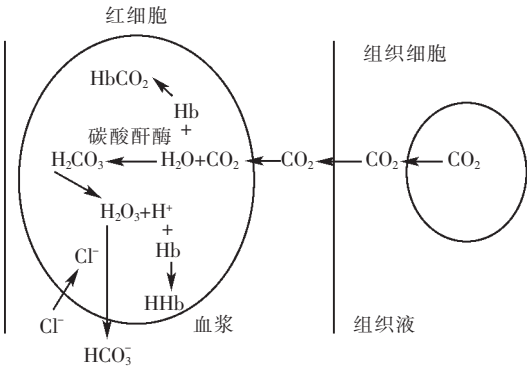
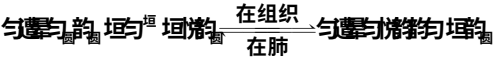


图 源-源 CO_2 在血液运输示意图

CO_2 不断进入红细胞，上述反应继续向左进行，使红细胞内 HCO_3^- 和 H^+ 浓度逐渐升高。红细胞中升高的 HCO_3^- 有两个去路，其一是与红细胞内的 H^+ 结合生成 H_2CO_3 ；另一个去路是以 HCO_3^- 形式顺浓度梯度扩散进入血浆，同血浆中的 Na^+ 结合成 NaHCO_3 。红细胞中的 H^+ 不能透过红细胞膜，在红细胞内 H^+ 与解离出 O_2 的 Hb 结合形成还原血红蛋白（ HHb ）。红细胞中的 HCO_3^- 扩散进入血浆，血浆中的 Na^+ 相应的进入红细胞，这种作用称为氯转移。其生理意义在于保持红细胞内正负离子的平衡。在肺泡中，发生的反应是从 NaHCO_3 中释放出 CO_2 ，同时还还原血红蛋白（ HHb ）从肺泡中摄取 O_2 而成氧合血红蛋白。

（圆）氨基甲酸血红蛋白形式： CO_2 能直接与血红蛋白的氨基结合，形成氨基甲酸血红蛋白（ HbNHCOOH ）。这一反应很迅速，无需酶的促进，且为可逆反应。



在运动时的缓冲能力，从而了解体内代谢情况。有人测定运动员的碱贮备量比未受过训练人高，经常训练的人可使血液的缓冲能力提高，碳酸酐酶的活性增强。

三、保护和防御功能

血液中白细胞的主要功能是吞噬和免疫反应，对机体有保护防御功能。白细胞分为吞噬细胞及免疫细胞两大类。吞噬细胞包括粒细胞和单核细胞，其功能主要是吞噬异物，参与炎症反应。由于这些活动不具有针对某一类异物的特性，故属非特异性免疫。免疫细胞是指淋巴细胞，淋巴细胞能产生抗体，每一种抗体都是针对某一类特异抗原的，故称为特异免疫（关于免疫第十二章还有详细介绍）。

淋巴细胞又可分为 T 淋巴细胞与 B 淋巴细胞两种。血液中的淋巴细胞中 T 淋巴细胞是 T 淋巴细胞，它执行细胞免疫功能。所谓细胞免疫是指特异性的 T 细胞与某种特异抗原之间的直接相互作用，使这种特异性的 T 细胞激活，进而破坏与杀伤特异性抗原异物。B 淋巴细胞执行体液免疫功能。所谓体液免疫是指免疫细胞生成和分泌特异性抗体，以对抗某种特异性抗原。当 B 淋巴细胞受到抗原激活，直接变为具有抗原特异性的母细胞后，继续分化成为具有同样特异性的浆细胞，浆细胞则生成和分泌各种执行免疫功能的免疫球蛋白（Ig）。按其结构将免疫球蛋白分为 IgG、IgM、IgA、IgD 和 IgE，这些免疫球蛋白总称为抗体。

血液的另一种保护和防御功能表现在血小板的生理止血和凝血功能上。血小板含有多种与凝血有关的因子，能促进血液凝固。当小血管受损时，血小板释放 5-羟色胺和儿茶酚胺等化学物质使小血管收缩，使伤口局部血流速度减慢；其次，血小板在受损处粘附、聚集，形成松软的血小板血栓，堵塞血管的破口，从而起到生理止血的作用；组织损伤激活血小板凝血因子，导致

溶解状态的纤维蛋白原变为不溶的纤维蛋白，网罗血细胞形成坚实的血凝块，加固止血。

第四节 运动对血液的影响

一、运动时血量的变化

运动时，由于储存血液被动进入循环，使循环血量增加，一般人可增加 500ml 左右。运动员，特别是耐力运动员可增加 1000ml ~ 1500ml。但长时间运动，大量出汗后血容量可降低。

二、运动时血细胞的变化

运动时红细胞的数量增加，增加的程度与运动量有关，运动量越大，增加越明显。运动后恢复 24 小时内，白细胞下降至运动前水平。大运动量负荷白细胞可下降，约 1 周后上升到正常值。这 1 周中容易感冒，称“开窗期”。运动时血小板的数量和活性增加，血液凝固系统和纤溶系统活性加强。

三、运动训练与血红蛋白

运动对运动员血红蛋白正常值的评定

血红蛋白过低或过高都会影响运动员的运动能力。低于正常值，即出现贫血，氧和营养物质供给不足，必然导致工作能力下降。血红蛋白过高时，血液中红细胞数量也必然增多。这样，血液的粘滞性增大，造成血流阻力增加和心脏负担加重，引起身体一系列的不适应和紊乱。当血红蛋白为 150g/L 时，血黏度为 1.5 单位；血红蛋白为 180g/L 时，血黏度为 2.5 单位。正常生理活动应保持血黏度为 1.5 单位。因此，保持血红蛋白在最佳机能状态，这也是科学地进行训练的有效途径之一。当然，运动员的血红蛋白值存在个体差异，

不能用统一的正常值标准来评定运动员 匀 值，应针对每一个体情况进行测定和分析。

用血红蛋白进行运动员选材

实践证明，按每名运动员的 匀 平均值，可将 匀 值的个体差异分为三个类型：偏高、偏低、正常。一般情况下，偏高者能耐受大负荷运动训练，从事耐力性项目运动较好；偏低者耐力较差。

思考题

血液由哪些成分组成？各有什么特点？

什么是内环境？血液是怎样维持内环境稳态的？

血液是怎样运载氧和二氧化碳的？

人体运动时氧离曲线是如何变化的？为什么？

血液对机体的保护和防御表现在哪几个方面？

什么是体力前碱贮备？

简述高原训练的生理学基础。

摇摇古人云：流水不腐，户枢不蠹。生命亦然。健康的生命在于合理的运动。这种运动不仅指机体外在形式的运动，也包括了机体内部的运动。外在的运动必须依赖内部运动的支持，内部运动发生在我们生命的时时刻刻，却又无声无息，这就是血液循环。

第五章血液循环

血液在心脏和血管系统中按一定方向周而复始地流动，称为血液循环。血液循环的主要功能是运输机体各器官、组织和细胞的代谢活动所必需的氧和营养物质，并运走组织细胞生成的代谢废物，使机体内环境的各种理化性质维持相对稳定，以保证机体的代谢活动正常进行。体内各内分泌腺分泌的激素和其他体液因素，通过血液循环运送到靶细胞，实现机体的体液调节。骨髓、淋巴结等生成的白细胞、免疫抗体及各种凝血因子等，也通过血液循环实现血液的防卫功能。内脏和骨骼肌产生的热量，也有赖于血液循环运送到肺和体表散热以实现体温恒定。

血液循环的动力来源于心脏，由于心脏不断地进行节律性的收缩和舒张，从而推动血液流向全身各部分，又为血液回流心脏提供必要条件。心脏的这种活动形式与水泵相似，可把心脏看作一个泵器官，故心脏又称为心泵。血管是输送血液的管道，并通过毛细血管与组织细胞进行物质与气体交换，如图 5-1 所示。

人在从事体力劳动或运动时，由于代谢水平提高，血液循环功能在神经和体液调节下产生代偿性增强，使之与运动负荷相匹配。在长期体育锻炼或运动训练的影响下，血液循环功能可以获

得明显增强。这些变化是增进健康，提高人体有氧工作能力的重要基础。

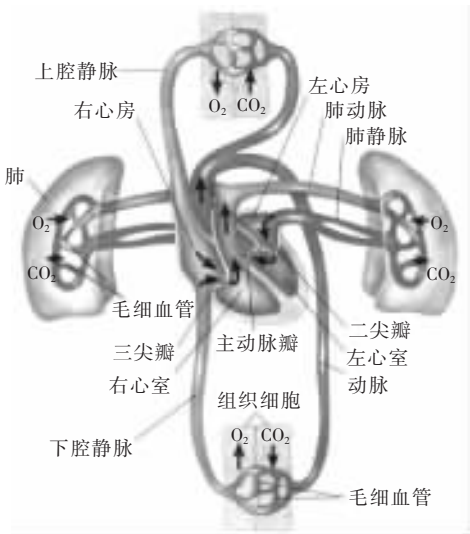


图 缘 循环示意图

第一节 心肌的生理特征

心脏能不间断地进行有序而协调的收缩与舒张，以实现心脏的泵血功能，这是由构成心脏的心肌细胞的生理特性决定的。组成心脏的心肌细胞可分为两大类型：一类是具有收缩与舒张功能的心房肌和心室肌细胞，称为工作细胞。它们具有兴奋性、传导性和收缩性，但不具有自律性。另一类是一些特殊分化的心肌细胞，组成心脏的特殊传导系统，具有自动产生节律性兴奋与传导性，不具有收缩性，称为自律细胞。

一、自动节律性

心肌细胞能够在没有外来刺激的条件下，自动地发生节律性兴奋的特性，称为自动节律性，简称自律性。在低等动物，心脏的各部分心肌细胞都具有自动节律性。但在人体中，只有心脏特殊传导系统内的自律细胞才具有自动节律性，而且各部位的自动节律性也有差别，其中窦房结细胞的自动兴奋频率最高，约为 $100 \sim 150$ 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ ，浦肯野氏纤维的自动兴奋频率最低，约为 $20 \sim 40$ 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ ，房室交界和房室束依次介于前两者之间。因此，窦房结是主导整个心脏兴奋和跳动的正常部位，故称为正常起搏点。由窦房结为起搏点引起的心脏节律性活动称为窦房结心律，由窦房结以外为起搏点的心脏活动称为异位心律。

二、兴奋性

心肌细胞具有对刺激产生反应的能力，即具有兴奋性。心肌兴奋性的高低是用阈值来表示的，阈值高表示兴奋性低，阈值低表示兴奋性高。心肌细胞与神经或骨骼肌一样，每产生一次扩布性兴奋之后，总要经历绝对不应期、相对不应期和超常期。心肌兴奋后兴奋性变化的特点是：有效不应期特别长，相对于心肌的整个收缩期加上舒张早期，这种特点使心脏不会产生强直收缩，始终保持着收缩与舒张交替的节律性活动，以保护心脏的充盈和射血功能。

窦房结所产生的每一次兴奋传播到心房肌或心室肌的时间，都是在它们前一次兴奋的不应期结束之后，因此，整个心脏能按照窦性心律而兴奋。但在一些异常情况下，如果在心室肌有效不应期之后，受到一个窦房结之外的异常刺激，而产生一次期前兴奋，由期前兴奋引起的收缩称期前收缩或期外收缩（早搏）。期前兴奋也有自己的有效不应期，当紧接在期前兴奋之后的一次窦房结的兴奋传到心室时，常常恰好落在期前兴奋的有效不应期

内，不能引起心室兴奋和收缩，形成“脱失”，须等到下一次窦房结的兴奋传到心室时才能引起收缩。这样，在一次期前收缩之后，出现一段较长的心室舒张期，称为代偿间歇。如图 缘-圆所示，随后，才恢复窦性心律。

每条曲线下的电磁标记号指示给予电刺激的时间，曲线在 猿-猿 刺激落在有效不应期内，不引起反应；曲线在 源-远 刺激落在相对不应期内，引起期前收缩和代偿间歇。

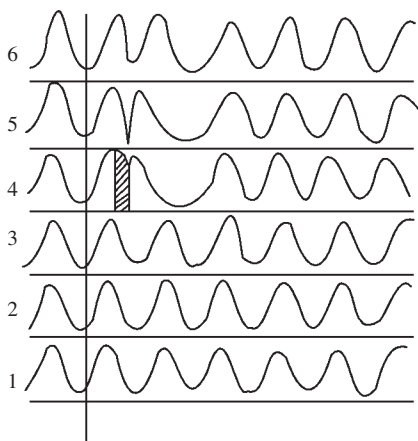


图 缘-圆 期前收缩和代偿间歇

三、传导性

心肌细胞具有传导兴奋的能力称为传导性，即心肌细胞上任何一点产生的兴奋，都能沿着细胞膜扩布到整个细胞。心脏内有特殊传导系统，即由窦房结经心房肌、房室交界、希氏束、左右束支，最后经浦肯野氏纤维而到达心室肌。

在整个传导系统中，以房室交界处兴奋传导速度最慢，延搁时间最长，约需 0.1 秒。房-室延搁具有重要生理意义，

它使心房兴奋和收缩先于心室，有利于心室的充分充盈而实现其泵血功能。

兴奋通过房室交界后，传导速度又重新加快，浦肯野氏纤维的传导速度可达 4m/s ，远快于心室肌本身的传导速度 1m/s ，使左右两心室的所有肌纤维几乎在同一时间进入收缩状态，形成同步收缩。

四、收缩性

心肌细胞和骨骼肌细胞一样，在受到刺激发生兴奋时，首先是细胞膜发生动作电位，然后通过兴奋收缩偶联，引起心肌收缩。但是心肌细胞的收缩与骨骼肌细胞的收缩也不完全相同，其特点是：

①对细胞外液的 Ca^{2+} 浓度有明显的依赖性

心肌与骨骼肌的兴奋—收缩偶联都是 Ca^{2+} 触发的。但心肌细胞的肌质网终末池很不发达，容积很小，贮存的 Ca^{2+} 量较骨骼肌少，所以，心肌细胞的兴奋—收缩偶联所需的 Ca^{2+} ，除了依靠终末池释放以外，还依赖于细胞外液 Ca^{2+} 的进入。当细胞外液中 Ca^{2+} 浓度增加时，心肌的收缩力量也随之增强。

②“全或无”方式的收缩

当刺激达到阈强度时，整个心房或心室就以“全”的方式进行收缩，即使应用比阈刺激强度大的刺激，心肌收缩的幅度也不会变得更大；如果刺激达不到阈强度，心肌就不发生收缩，这就是“无”的现象。由于心肌细胞间有闰盘存在，它对电流阻抗极低，易使兴奋从一个细胞传至相邻细胞，使构成心脏的心肌细胞几乎同时接受兴奋的信息，所以组成心脏的所有心肌细胞在功能上如同一个细胞，此又被称之为功能合胞体。

③不发生强直收缩

由于心肌有效不应期长，所以相继的各次收缩不能像骨骼肌那样可以总和，形成强直收缩，从而保证心脏收缩与舒张交替进

行，有效地实现心脏泵血功能。

第二节 心脏功能

心脏不间断地作有秩序的收缩与舒张的交替活动，是实现泵血功能的必要条件。

一、心动周期与心率

心房和心室每收缩与舒张一次构成一个机械活动周期，称为心动周期。心动周期历时的长短取决于心率，如以成人平均心率75次/分钟计算，则每个心动周期平均约为0.8秒。其中心房收缩期为0.1秒，心房舒张期为0.7秒，心室收缩期为0.1秒，心室舒张期为0.7秒。心室舒张期的前0.4秒，心房也处于舒张期，故这一时期称为全心舒张期，如图1-1所示。当心率加快时，每一个心动周期的历时缩短，尤其以舒张期的缩短更为显著，如图1-2所示。当心率过分增快时，由于舒张期的显著缩短而使心室充盈不足，从而使心室的泵血量减少。

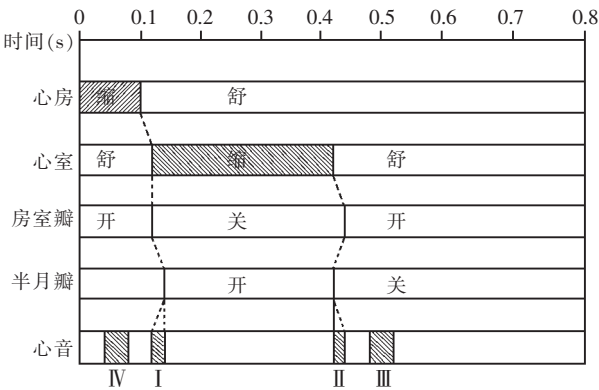


图 1-1 心动周期中心房和心室的实现顺序和时间关系



图 5-1 心率与心室舒、缩时间的关系

心率为每分钟心脏搏动的次数。健康成人静息时心率在 75 次·分⁻¹ 之间，平均为 75 次·分⁻¹，但随着年龄、性别、体能水平、训练水平和生理状况的不同有所不同。新生儿心率可达 150 次·分⁻¹，以后，随着年龄的增长而减慢，至青春期末接近成年人的心率。在成年人中，女性心率比男性快 10 次·分⁻¹。有良好训练或体能较好者的心率较慢，尤其是优秀耐力运动员静息时心率常在 60 次·分⁻¹ 以下。当人体由卧位转为站位时、进食后、体温升高、情绪紧张、疼痛刺激、缺氧、劳动等，心率都可加快。在肌肉活动时，心率的增加与运动强度有关，而且增加的幅度还与运动持续时间、体能水平、训练水平有关。

二、心脏的泵血过程

与心房相比，心室在泵血过程中所起的作用更为重要。现在以左心室为例，说明心室射血和充盈的过程，以便了解心脏的泵血机制。

（一）左心室的射血和充盈过程

左心室的一个心动周期，包括收缩和舒张两个阶段，通常以心房开始收缩来描述一个心动周期的起始点。

（1）心房收缩期

心房开始收缩之前，心脏正处于全心舒张期，心房和心室内

压力都比较低,接近于大气压。由于静脉血不断流入心房,心房压相对高于心室压,室房瓣处于开启状态,血液由心房顺房-原室压力梯度进入心室,使心室充盈。此时的心室内压力低于主动脉压,故半月瓣处于关闭状态。

心房开始收缩,心房容积减小,内压升高,心房内血液被挤入已经充盈着血液但尚未处于舒张状态的心室,使心室血液充盈量进一步增加。心房收缩期约为 0.1s 随后进入舒张期。

④ 心室收缩期

包括等容收缩期和快速减慢射血期。

①等容收缩期。心室开始收缩,室内压迅速升高,当心室内压超过房内压时,房室瓣立即关闭。此时,室内压尚低于主动脉压,半月瓣仍处于关闭状态,心室成为一个封闭腔。虽然心室收缩,但心室容积没有改变,故称等容收缩期,其特点是室内压快速大幅度提高。

②射血期。等容收缩期间室内压升高超过主动脉压时,半月瓣被冲开,等容收缩期结束,进入射血期。射血期最初 0.1s 左右时间内,由心室射入主动脉的血量很大(约占每搏输出量的 1/3),流速亦很快,心室容积明显缩小,室内压继续上升达峰值,这段时期为快速射血期。随后,心室内压开始下降,射血速度逐渐减慢,称为减慢射血期。此时心室内压虽已略低于主动脉压,但因血液具有较大的动能,依其惯性逆着压力梯度继续流入主动脉,心室容积继续缩小。

⑤ 心室舒张期

包括等容舒张期和快速、减慢充盈期。

①等容舒张期。心室肌开始舒张后,室内压下降,主动脉内血液向心室方向流,推动半月瓣关闭;此时室内压仍高于房内压,房室瓣依然处于关闭状态,心室又成为封闭腔。心室肌舒张,室内压急速大幅度下降,但容积并未改变。

②充盈期。当心室压降低到低于房内压时，房室瓣开启，心室充盈开始，血液顺着房—室压力梯度快速流入心室，称此期间为快速充盈期。这期间流入心室的血液约占总充盈量的 $\frac{2}{3}$ 。随后，血液以较慢的速度继续流入心室，心室容积进一步增加，称为减慢充盈期。然后进入下一个心动周期。

图 5-1 心室泵血的机制

推动血液单向流动的主要动力是梯度压力，而心肌的收缩与舒张是造成心室内压力变化从而导致心房和心室之间、心室与主动脉之间产生压力梯度的根本原因。血液的单方向流动则是在瓣膜的配合下实现的，心脏瓣膜的作用对于室内压的变化起着重要的作用，没有瓣膜的配合，等容收缩期和等容舒张期室内压大幅度的升降不能实现。

三、心音

在一个心动周期中，由于心肌收缩、瓣膜启闭、血液以一定的速度对心血管壁产生加压和减压作用，以及形成的涡流等因素引起的机械振动，通过周围组织传到胸壁。如将听诊器置于胸壁的相应听诊区，就可以听到声音，称为心音。正常人的心前区听诊时，每个心动周期内一般可听到两个心音，即第一心音和第二心音，有时可听到第三心音（儿童和青年人）或第四心音（40岁以上的人）。

第一心音发生在收缩期，是房室瓣关闭引起血流振动所形成的，音调低而持续较长，通常在心尖搏动处听得最清楚，是心室收缩开始的标志。心脏收缩力越强，第一心音也越强。

第二心音发生在舒张期，与动脉瓣关闭时引起血流振动有关，音调高而短促，通常在心底搏动处听得最清楚，它标志着心室舒张的开始。

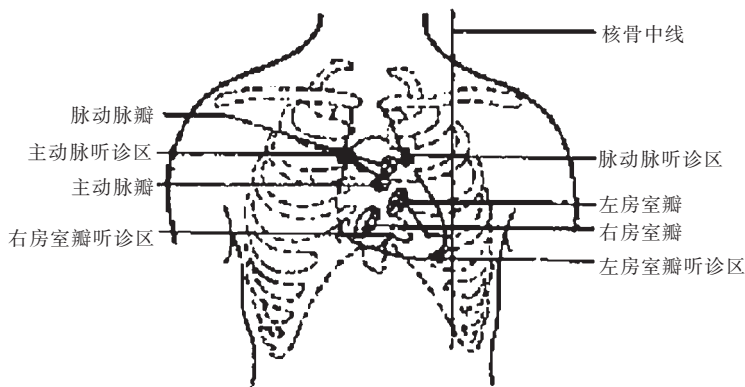


图 缘-缘 缘各瓣膜位置投影及心音听诊区

四、心电图

在正常人的一个心动周期中，心脏各部分兴奋过程出现的电变化传播方向、途径、次序和时间等都有一定规律，心脏的电变化通过心脏周围导电组织和体液，反映到身体表面。将电极放置在体表的一定部位所记录出来的心电变化图形，称为心电图。心电图是反映整个心脏兴奋的产生、传导和恢复过程中的生物电变化，不代表心脏的机械活动。描记心电图时，引导电极在体表安放的位置及其导线连接方式称为导联。从不同导联上描记出来的心电图各有特点，图 缘-远是模式化了的的心电图。心电图上各波段的意义如下：

孕波：代表左右两心房去极化过程的电位变化。

回孕波群：代表左右两心室去极化过程的电位变化。代表心室肌兴奋扩布所需的时间。

裁波：代表心室复极过程中的电位变化。

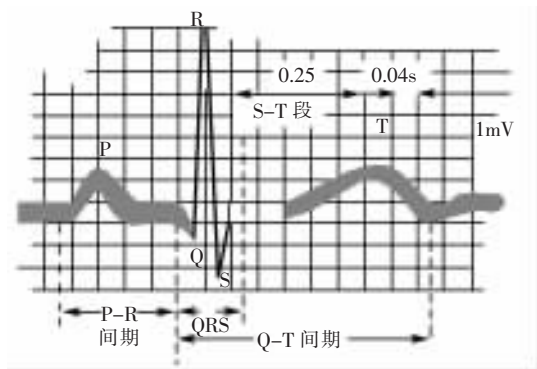


图 缘 遥 正常人心电模式图

孕-砸间期（或 孕-匠间期）：是指从 孕波起点到 匠波起点之间的时程。孕-砸间期代表由窦房结产生的兴奋经由心房、房室交界、房室束到达心室肌，并引起心室开始兴奋所需要的时间，故又称为房—室传导时间。

匠-栽间期：从 匠波群起点到 栽波终点时程，它代表心室开始兴奋去极化到完全复极至静息状态的时间，这一间期的长短与心率密切相关。

杂-栽段：是指从 匠波群终点到 栽波起点之间的时距，正常时与基线齐平，代表心室各部分之间不存在电位差。

五、心泵功能的评价

心脏的泵血功能是在单位时间内输出的足够的血量，以适应机体各器官、组织新陈代谢的需要。当机体急需较多血液供应时，心脏就能加强收缩，增加搏动频率，进而增加心输出量；反之，则减少心输出量。因此，心输出量是评价心泵功能的重要指标。

愿 搏输出量和每分输出量

(员) 每搏输出量

一侧心室每次收缩所射出的血量称为每搏输出量,简称搏出量。通常左右心室的搏出量大致相等,正常成年人在静息状态下的搏出量约为 70ml ~ 100ml 平均为 70ml 而左心室舒张期末的容积约为 160ml ~ 180ml 可见,每一次心脏收缩时,心室内血液并未全部射向外周,心室内还有相当多的余血量。通常把每搏输出量所占心室舒张末期容积的百分比称为射血分数,正常成年人静息时约 50% ~ 60% ,随着肌肉活动逐渐提高,说明心肌收缩力增强,心室余血量减少。耐力训练时,尽管搏出量增加,但由于心舒张末期容积也增加,故射血分数基本不变。

(圆) 每分输出量

一侧心室每分钟所射出的血量,称为每分输出量,简称心输出量,它等于搏出量与心率的乘积。

正常成年人男性静息状态下,心率平均为 $70\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$,搏出量为 70ml 则心输出量约为 $4.9\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。女性与同体重男性相比,约低 10% 。在不同生理状态下,心输出量有较大的差异,体弱者从卧位而突然起立时,可使心输出量暂时降低;直立过久者心输出量将减少;进餐后、妊娠、情绪紧张、低 pH 、 pO_2 过多,都可以使心输出量明显增加。心输出量与运动强度相适应,剧烈运动时心输出量最高可达静息时的 4 倍,有良好训练的耐力运动员,剧烈运动时心输出量可达 $10\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ~ $15\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$,甚至高达 $20\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ 。所以,心输出量是影响人体运动能力的重要因素,发展与提高耐力运动员的心泵血功能,是提高有氧耐力运动成绩的重要方面。

实验表明:用心输出量的相对值可对不同个体的心泵血功能作全面比较。人体静息时的心输出量与体重不成正比,而与体表面积成正比,以每平方米体表面积计算的心输出量,称为心指数。中等身材的成年人心指数约为 $3.0\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ ~ $3.5\text{L}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$ 。

岁左右时，静息心指数最大，可达 $3.0 \sim 3.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 以上，以后随着年龄增长而逐渐下降，到 60 岁时，静息心指数降至 $2.5 \sim 3.0 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 左右。肌肉运动时，由于心输出量增加，心指数也增加。

影响心输出量的因素

每分输出量等于每搏输出量乘以心率。因此，心输出量的多少取决于每搏输出量和心率。每搏输出量取决于心室舒张末期容积和心室射血能力，而心室射血能力又与动脉血压及心肌收缩性能有关。所以，影响心输出量的主要因素有以下几方面：

（一）心室舒张末期容积

在一定范围内，增加静脉回心血量，使心室舒张末期的容积或压力增加时，心室肌收缩力量随之加大，搏出量也就增多。搏出量的这种调节基础在于心肌纤维初长度的改变，这种不依赖于心脏以外调节因素对搏出量的调节，称为异长自身调节。

心室舒张末期的容积主要是由静脉回流量决定的。静脉回流量的多少，一方面与舒张期长短有关，另一方面与静脉回流的速度有关。剧烈运动时，心率明显增快，舒张期缩短，这时心室舒张末期容积并没有增加，说明运动时搏出量明显增加与心肌的这种异长自身调节的作用并不大。

（二）心肌收缩性能

心肌收缩能力是心肌的一种内在工作性能。剧烈运动时，搏出量的持久、大幅度的增加是依赖心肌收缩能力的调节实现的。这种与心肌初长度无关，而是通过心脏以外调节因素来改变心肌收缩能力的调节机制，称为等长调节。

心肌收缩能力受多种因素的影响，首先是活化横桥数和肌凝蛋白 ATP 酶活性，其次还受支配心脏的神经和体液的影响。当交感神经兴奋，肾上腺素增多时，可使心肌收缩性能增强，从而使搏出量增加。

③ 动脉血压

动脉血压是心脏在开始收缩时所遇到的负荷,故称为后负荷。当动脉血压升高时,心室内压必须超过升高了的血压,半月瓣才能打开。这样,心室等容收缩期就延长,射血期相应缩短,使搏出量减少,于是剩余在心室中的余血量增加,使心舒末期容积增加,通过异长自身调节,加强心脏收缩力,搏出量又可恢复至原先水平。剧烈运动时,在动脉血压升高的情况下,搏出量仍能维持在较高水平,这是由于在神经、体液的调节下,心肌收缩力增强的缘故。

④ 心率

由于心输出量是每搏输出量与心率的乘积,所以心率增加,心输出量将增多,但这有一定限度,当心率超过 $150 \sim 160$ 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ 时,每搏输出量开始下降;当心率超过 160 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ 时,心室充盈时间变得十分短促,充盈量明显减少,结果反而使心输出量下降。反之,如果心率过慢,到 50 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ 以下,尽管心舒张期延长,但心室充盈度已接近限度,搏出量不能相应增加,而使心输出量减少。因此,只有心率在适应范围内,即 $100 \sim 160$ 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ 至 $160 \sim 180$ 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ 之间,心输出量才能保持较高水平。

优秀运动员,由于运动时呼吸和肌肉运动等因素促进静脉血回流,加之心肌收缩有力而迅速,故搏出量可在心率超过 180 次 $\cdot \text{min}^{-1}$ 时才减少。

⑤ 心力贮备和心脏做功

① 心力贮备

健康成人作剧烈运动时,心输出量可 $3 \sim 4$ 倍,比安静时增加 $3 \sim 4$ 倍,而优秀运动员则可增加到 $5 \sim 6$ 倍。可见心输出量可随着机体代谢的需要而增加,具有一定的贮备能力,称为心力贮备或心泵功能贮备。

心力贮备可分为心率贮备、收缩期贮备和舒张期贮备。

心率贮备是通过心率增加而使心输出量增加的贮备。优秀耐力运动员安静时心率较低，而最高心率与常人一样，故心率贮备量较大。

收缩期贮备用心室收缩末期容积减小的幅度来表示，是通过心室收缩力增强而实现的。

舒张期贮备是用心室舒张末期容积增加的幅度来表示，一般认为舒张期贮备最少。

运动时主要通过动用心率和心收缩期贮备而使心输出量增加。静息状态时心室舒张末期容积为 120ml ，由于心室不能过分扩大，最多只能达到 160ml ，所以舒张期贮备只有 40ml 左右。心室收缩末期容积通常约为 50ml ，当心肌收缩功能增强，心室舒张末期容积可以减少至 40ml ，故收缩期贮备约为 10ml 。运动时主要通过动用心率和心收缩期贮备而使心输出量增加。

（四）心脏做功量

心输出量是衡量心脏功能的重要指标，但输出量相同的心脏并不等于完成相同的工作量或消耗相等的能量，这是因为动脉血压不同，心脏做功量或消耗的能量也会不同。因此，心脏做功量也是评价心脏功能的重要指标。

心脏做功可分为搏功和每分功两类。搏功是指心室一次收缩所做的功，它近似等于平均动脉压和搏出量的乘积。每分功等于搏功与心率的乘积。运动时的搏功和每分功都增加。

第三节 血管生理

从功能的角度看，血管系统可分为四段：一为弹性血管，指主动脉和肺动脉主干及其发出的 $1\sim 2$ 级分支，其功能除运输血液外，还能缓冲动脉压的巨大波动，并使心室间断性射血变为连

续性血流。二为阻力血管，相当于小动脉的末梢和微动脉，是造成血流阻力的主要部分，对调节动脉血压和器官血流量起重要作用。三为交换血管，相当于毛细血管和微动脉，血液和组织间隙液之间的气体（ O_2 和 CO_2 ）和小分子物质，可通过扩散而进行交换。四为容量血管，是指静脉系统的血管，静脉血管管壁较薄，口径较粗，故容量大。在安静状态下，循环血量中有的 $70\% \sim 80\%$ 的血液容纳在静脉中，如图 3-1 所示。

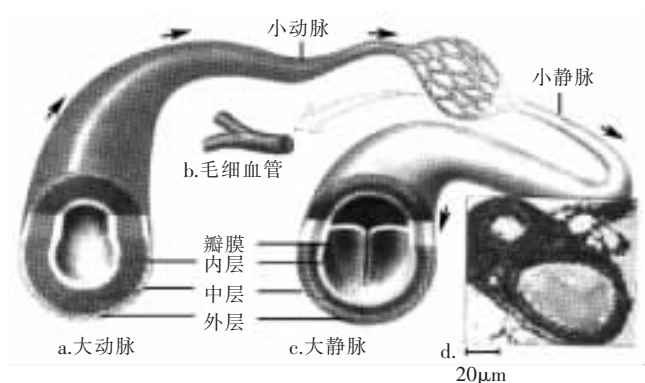


图 3-1 血管

一、动脉血压和动脉脉搏

血压是指血管内流动的血液对血管壁的侧压力。以单位面积所受的力表示，即压力。根据我国法定计量标准规定，压力的单位用（ N/m^2 ，即牛· m^{-2} ）（ $mmHg$ ），而生理学期习惯用毫米水银柱（ $mmHg$ ）作为血压的单位（ $1mmHg$ 相当于 $133.3Pa$ 或 $1.33kPa$ ）。

影响动脉血压形成的基本条件

血压的形成，首先是心血管系统内有足够的血液充盈。如果没有血液充盈，血管壁就没有压力。因此，血液充盈是形成血压

的前提条件。血压的形成有两个基本条件，这就是心室射血和血液流动遇到的外周阻力。

心室肌收缩所释放的能量，一部分用于推动血液流动的动能；另一部分则对血管壁产生侧压，成为使血管壁扩张的势能。在心室舒张期，大动脉发生弹性回缩，又将这部分势能转变为推动血液流动的动能。由于心室射血是间断的，所以在一个心动周期中，动脉血压出现周期性变化。另外，由于血液从大动脉到大静脉末端的过程中能量不断消耗，故血压逐渐降低，降低的幅度通常与该处血管对血液的阻力成正比。外周阻力主要来自小动脉和微动脉。如果没有外周阻力，心室射出的血液将全部流至外周，不可能对血管壁产生侧压力；反之，只有外周阻力而没有心室收缩射血，缺乏能量的来源，也不能形成动脉血压。

以左心室为例，每次收缩大约射向主动脉约100ml血液，由于有外周阻力和大动脉管壁的弹性作用，使射血量约70ml流向外周，其余30ml留在主动脉和大动脉内。这样心室收缩时，释放的能量有一部分以势能的形式储存在这些血管的管壁中；当心室舒张时，这些血管发生弹性回缩，推动血液继续流动，也使动脉血压维持一定水平。可见动脉管壁的弹性作用，不但使心室的间断射血变成动脉内连续血流，而且使收缩压不致过高，使舒张压不致过低，如图 5-10 所示。

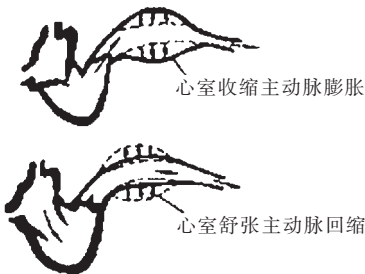


图 5-10 主动脉壁弹性对血流和血压的作用

一、动脉血压的正常值

心室收缩时血压升高达到的最高值称为收缩压，心室舒张末期血压的最低值称为舒张压。收缩压与舒张压之差称为脉搏压。在一个心动周期中，每一瞬间动脉血压的平均值，称为平均动脉压，它接近于舒张压，约等于舒张压的2/3。

一般所说的动脉血压是指主动脉压，常以肱动脉压来代表。我国正常青年人在安静时收缩压为90~120 mmHg，舒张压为60~80 mmHg，脉搏压为30~40 mmHg，平均动脉压为93 mmHg左右。如果安静时血压持续高于160/95 mmHg以上者为“高血压”，在140/90~160/95 mmHg之间为“临界高血压”，血压持续在90/60 mmHg以下者为“低血压”。

动脉血压有个体差异，随年龄、性别、体位和生理状态等因素而变化。

一般新生儿血压低，以后随年龄的增加而逐渐升高。同年龄男性略高于女性，但女性在更年期时可高于男性。

人体在情绪激动、紧张、劳动、运动时，血压可明显升高，尤以收缩压升高明显，而安静、睡眠时血压下降。身体体位改变时，血压也随之改变，一般人直立或坐着时的血压比平卧时略低，这是因为重力作用使回心血量减少，从而引起心输出量减少所致。身体强壮者这种影响不明显，但体弱者从平卧而突然起立时，常因血压突然下降而出现头昏眼花的感觉。

呼吸运动对血压也有一定影响。在平静呼吸时，吸气时血压略低，呼气时血压略升，但在深呼吸时，血压的变动较复杂，在吸气的大部分时间内血压升高，呼气的大部分时间内血压下降。由于深吸气时胸廓显著扩大，胸腔和腹腔压力差增大，腹部回心血量增加，导致心输出量增大，血压上升。

二、影响动脉血压的因素

动脉血压的形成，主要来自心脏射血和外周阻力两方面的因

素，所以，凡是影响这两者的因素都可以影响动脉血压。

(员 每搏输出量。当搏输出量增多时，射入主动脉的血液量增多，收缩压升高。由于收缩压升高，心舒期动脉管壁弹性回缩力增加，推动血液流向外周的速度加快，在其他因素不变的情况下，舒张末期大动脉内存留的血量与搏出量增加之前相比，略有增多。因此，舒张压升高幅度不如收缩压明显，故脉压增大。反之，当搏出量减少时，主要使收缩压降低，脉压减小。所以收缩压的高低主要反映搏出量的多少。人体运动时，由于搏出量增加，收缩压可以明显升高。例如，剧烈运动时收缩压可达 160 毫米汞柱左右。

(圆 心率。当心率改变时，对舒张压影响较大。如其他因素不变而心率加快，则由于心舒张期缩短，在较短的时间内流向外周的血量减少，而心舒张末期大动脉内存留的血量增多，使舒张压升高。但收缩压升高不如舒张压明显，故脉压减小。当心率减慢时，舒张压下降比收缩压下降明显，故脉压增大。

(猿 外周阻力。外周阻力改变时，对收缩压和舒张压都有影响，但对舒张压的影响较为显著。如果其他因素不变而外周阻力增大，心舒张期血流速度变慢，心舒张末期存留在大动脉内血量增多，故舒张压升高。由于收缩压升高不如舒张压的升高明显，故脉压减小。反之，当外周阻力减小时，舒张压的降低比收缩压的降低明显，故脉压加大。可见舒张压的高低主要反映外周阻力的大小。

(源 主动脉和大动脉的弹性作用。主动脉和大动脉具有缓冲动脉血压变化的作用，使收缩压不致过高，舒张压不致过低。老年人的动脉管壁硬化程度较大，弹性减弱，因而收缩压明显升高，同时常伴有小动脉也出现硬化，使外周阻力加大，故舒张压也升高。反之，儿童、少年时期动脉管壁弹性大，收缩压较低而使脉压较小。

(缘 循环血量与血管容积的关系。循环血量与血管容积相适应,才能使血管系统有足够的充盈,产生一定的体循环平均充盈压。正常情况下,两者是相适应的,但在失血过多或严重脱水时,会导致循环血量不足,体循环平均充盈压下降,此时回心血量减少,动脉血压下降。

以上均假设在其他因素不变时,只是某一因素对动脉血压的影响。实际上,这些因素经常同时改变,动脉血压的变化,往往是多种因素作用的综合结果。

(选 体育运动对动脉血压的影响。一次运动时动脉血压的变化取决于心输出量和外周阻力两者之间的关系,并与运动方式、强度、持续时间有关。

从事动力性运动时,由于心输出量增加,运动肌肉的血管舒张,而腹腔内脏血管收缩(血流量重新分配),故外周阻力不变或轻度下降,因此,收缩压升高,而舒张压变化不大或略有下降,脉压增高。血压增高的幅度与运动强度有关。

从事静力性运动时,由于心输出量增加幅度较小,肌肉持续收缩压迫血管和腹腔内脏血管收缩,使外周阻力增大。故收缩压略有升高,而以舒张压升高最为显著,脉压下降。血压升高的幅度与主观用力程度的关系更为密切。

长期以来,许多学者在体育运动对动脉血压的影响等方面进行了大量研究,目前比较一致的看法是,长期适度的有氧训练可使高血压患者的血压(指收缩压)降低。运动形式主要有:太极拳、气功等,至于这些锻炼可使血压降低的机制尚待进一步研究。

动脉脉搏

在每个心周期中,动脉内的压力发生周期性的波动,在浅表的动脉管壁上可以扪到搏动,称动脉脉搏,简称脉搏。脉搏起始于主动脉根部,沿着血管壁向传播。在体育运动中,常用测定桡

动脉、颈动脉或颞浅动脉脉搏来代替心率，如图 5-10 所示。因为正常情况下，每分钟脉搏次数与心率一致。

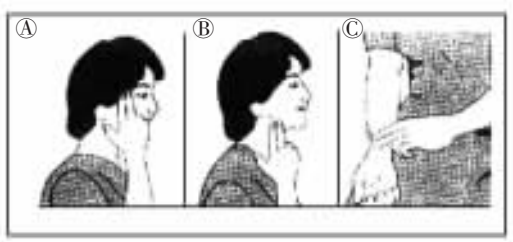


图 5-10 常用脉搏测量部位

二、器官血流速度和血流量

血流速度

血液在血管内流动的线速度称为血流速度。各类血管中的血流速度与同类血管的总截面积成反比。因此，血流速度在主动脉中最快，在毛细血管中最慢。据估计，毛细血管中的总截面积约为主动脉的 100 倍，所以毛细血管中的血流速度为主动脉的 $\frac{1}{100}$ 。据测定，主动脉的平均速度约为 $40 \sim 60 \text{ cm/s}$ ，而毛细血管的速度约为 0.05 cm/s 。毛细血管中血液缓慢流动的特点，有利于它与组织液之间进行物质交换。血液由毛细血管逐渐汇流于静脉，血管的总截面积逐渐减小，血流速度也逐渐加快，越接近心脏，其血流速度也越快。

器官血流量与运动时血液重新分配

在单位时间内流经某一器官血量，称为该器官血流量。它与该器官动静脉两端压力差成正比，而与该器官内的血流阻力成反比。在正常情况下，静脉端压力很低，且变化不大，故压力差主要取决于流入该器官的动脉血压；器官内的阻力，主要决定于器官内血管的舒缩状况，血管口径微小变化即导致阻力明显改变，

从而使血流量发生显著增加或减少。在安静状态下，通过各器官的血流量按单位重量计，心、脑、肝、肾的血流量较高，骨骼肌很低。而在运动时，骨骼肌的血流量可增加到占心输出量的 15% 左右，其他器官血流量所占比例则相应减少，如表 1-1 所示。

表 1-1 不同强度运动时主要器官的血流量

器官	安静时	轻度运动时	中等强度运动时	大强度运动时
内脏（含肝）	1.0	1.0	1.0	1.0
肾	1.0	1.0	1.0	1.0
脑	1.0	1.0	1.0	1.0
心	1.0	1.0	1.0	1.0
骨骼肌	1.0	1.0	1.0	1.0
皮肤	1.0	1.0	1.0	1.0
其他	1.0	1.0	1.0	1.0
总计	1.0	1.0	1.0	1.0

表中血流量单位为：L/min

运动时骨骼肌的血管舒张，血流量增加；而腹腔内脏器官和皮肤的血管收缩，血流量减少，使血流量发生重新分配。这一调节机制具有重要的生理意义：（1）通过减少不参与活动器官的血流量，保证有较多血流量供给运动肌肉，约有 15%~20% 的血流量可以从骨骼肌以外的组织器官暂时流入肌肉。这样，即使心输出量不增加，仅通过血流量的重新分配，也可以给骨骼肌多提供 1.0~1.5 L/min 的氧；（2）由于骨骼肌、心脏、肝脏以外器官的血管收缩，使总外周阻力不致因运动肌肉血管舒张而明显下降，从而使平均动脉压下降，这也促进了肌肉血流量的增加。

皮肤血流量的分配比较特殊，在运动开始阶段，皮肤血管收缩，使皮肤血流量减少，但随着运动的继续进行，由于产热量的

增加而使体温升高，通过体温调节节制，使皮肤血管扩张，血流量增加，以利于散热。

三、微循环

微循环是指微动脉与微静脉之间的血液循环。其机能主要是进行血液与组织液之间的物质交换与气体交换，维持内环境的相对稳定。

微循环的组成

各器官、组织的结构及机能不同，微循环的结构也不同。典型的微循环由微动脉、后微动脉、毛细血管前括约肌、真毛细血管、通血毛细血管、动—静脉吻合支和微静脉等七部分组成，如图 5-1 所示。微循环中有以下三种不同形式的通路：

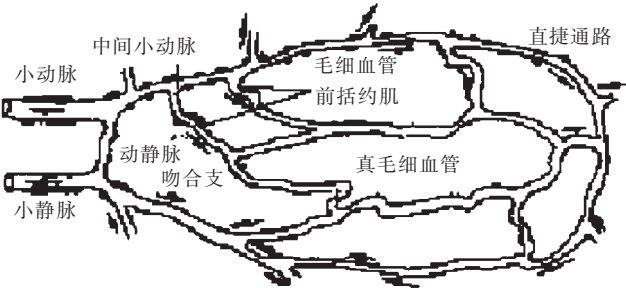


图 5-1 微循环模式图

(1) 迂回通路。血液从微动脉经过后微动脉、毛细血管前括约肌和真毛细血管，然后汇集到微静脉的通路为迂回通路，又称营养通路。它是血液和组织液进行物质交换和气体交换的场所。安静时，组织中的后微动脉和毛细血管前括约肌处于交替的收缩与舒张状态，使得真毛细血管网交替关闭和开放。骨骼肌中在同一时间内，只有约 10% 的真毛细血管处于开放状态。

其舒缩活动主要与局部代谢产物的积累有关。当真毛细血管关闭后,局部组织中代谢产物逐步积累,又可促使后微动脉和毛细血管前括约肌舒张,真毛细血管开放,血流带走了代谢产物后,真毛细血管又关闭。肌肉活动时,肌肉中代谢产物增多,促使真毛细血管开放增多,有利于肌肉获得更多的氧,以适应代谢的需要。

(圆) 直捷通路。是指血液从微动脉经后微动脉通向微静脉的通路。通血毛细血管是后微动脉的直接延伸,血流速度快,常处于开放状态。其主要功能是使一部分血液迅速通过微循环而流回心脏。这条通路在骨骼肌和肠系膜上多见。

(猿) 动-静脉短路。是指血液从微动脉经动-静脉吻合支直接流向微静脉的通路。这条通路在人体皮肤和皮下组织多见,其功能是调节体温。当气温升高时,动-静脉吻合支大量开放,皮肤血流量增多,有利于散热;反之,气温下降时,皮肤散热少。

组织液的生成

存在于组织细胞间隙的液体称为组织间液,简称组织液。除大分子蛋白质外,组织液成分基本与血浆相同,它是血液与细胞进行物质交换的媒介。

组织液是血浆经毛细血管壁滤过生成。滤过的动力来自两种力量的相互作用,如图 缘- 缘所示。毛细血管血压和组织液的胶体渗透压是促使液体从毛细血管滤过的力量,而组织液静水压和血浆胶体渗透压是使液体重吸收回毛细血管的力量,这两种力量之差,称为有效滤过压。用下式表示:

有效滤过压 越 (毛细血管血压十组织液胶体渗透压) 原
(组织液静水压十血浆胶体渗透压)

总的说来,流经毛细血管的血浆约有 缘%在毛细血管的动脉端滤出成为组织液,这其中 怨%在静脉端被重吸收回血,余下

液体进入毛细淋巴管，成为淋巴液。

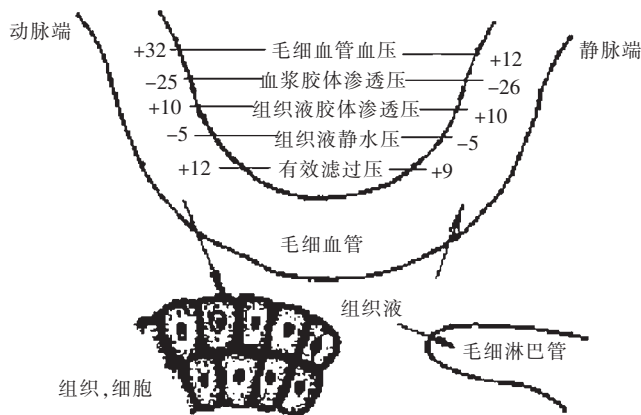


图 缘 组织液生成与回流示意图
使液体滤出毛细血管力量；使液体吸收回
毛细血管力量 图中数字单位为 毫米汞

在正常情况下，组织液的生成与重吸收保持动态平衡，保证了血量和组织液量的相对稳定。一旦这种动态平衡遭到破坏，发生组织液生成过多或重吸收减少，均可引起组织间隙有过多的液体滞留，形成组织水肿。

四、静脉血流的特征

静脉血管是血液回流心脏的通道，由于静脉血管的容量大，还能有效地调节回心血量和心输出量，使循环功能适应机体不同情况的需要。

静脉血压

血液到达静脉后，其血压很低，微静脉只有 缘 毫米汞。右心房作为体循环终点，血压更低，接近于零。通常将右心房和胸腔内大静脉的血压称为中心静脉压，而将各器官静脉的血压称

为外周静脉压。中心静脉压的高低取决于心脏射血能力和静脉回心量的多少。如果心脏射血能力较强,则中心静脉压较低,反之,则较高。

④ 静脉回流及其影响因素

静脉回流取决于外周静脉压与中心静脉压之间的压力差,以及静脉对血流的阻力。因此,凡是影响中心静脉压、外周静脉压和静脉阻力的因素,都能影响静脉回流。

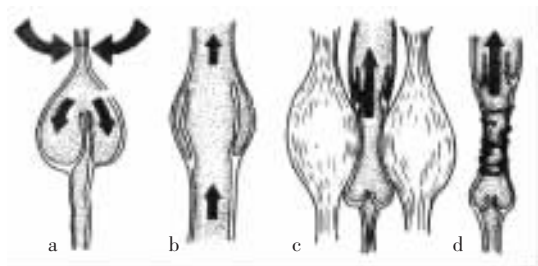
⑤ 心肌收缩力。心肌收缩力是静脉回流的动力,如果心肌收缩力强,射血后心室排空愈完全,心舒张期室内压愈低,中心静脉压下降,抽吸心房和大静脉内血液回心室的力量就大,静脉回流增多,反之,则减少。

⑥ 呼吸运动。吸气时,胸廓扩大,胸内压降低即负压增大,使胸腔内大静脉和右心房扩张,中心静脉压下降,有利于静脉回流。呼气时则相反,静脉回流会减少。憋气时,由于胸内压明显升高,由负压变为正压,最高可达 100mmHg 左右,将使静脉回流受阻,常表现颈部静脉鼓胀。例如,憋气时间过长,使静脉回流明显受阻,甚至使脑部因暂时贫血而出现昏厥。

⑦ 体位改变。当身体由平卧转为直立时,由于重力影响,大量血液滞留于心脏水平以下的血管中,导致静脉回流下降。如果长时间站立,滞留于下肢和腹腔静脉的血液,可间接地提高毛细血管血压,导致组织液生成增加而引起下肢水肿。同时,由于回心血量减少,致使脑和视网膜出现暂时性缺血,甚至发生昏厥现象。

⑧ 骨骼肌的挤压作用。静脉血管易受周围组织压力的影响。当肌肉收缩时,在肌肉内或肌肉间的静脉受到挤压,使静脉回流加快;当肌肉舒张时,对静脉的挤压作用消失,静脉回流减慢,但由于外周静脉有瓣膜阻止血液逆流,并能从静脉瓣膜的远心端抽吸血液加以补充。所以,骨骼肌的节律性收缩与舒张,犹

如对静脉内血液起着泵的作用，称为“静脉泵”或“肌肉泵”，如图 5-10 所示。



●表示防止血液逆流
→表示没有受到阻碍时正常血流
■表示血管附近肌肉收缩促进静脉血回流
■表示静脉管壁平滑肌束的作用

图 5-10 静脉瓣的作用示意图

较长时间剧烈跑步到终点时，如果骤然停止并站立不动，由于肌肉泵消失，再加上重力作用，使大量静脉血液积聚在下肢扩张的静脉管中，回心血量明显减少，心输出量随之减少，动脉血压迅速下降，致使脑部暂时贫血而出现昏厥现象，称为重力性休克。所以跑步到终点时，要继续慢跑或步行一段时间，以避免出现上述现象。

第四节 心血管活动的调节

人体在不同的生理状态下，各器官、组织的代谢水平不同，对血液供应量也不同。机体内的神经和体液机制可对心血管活动进行调节，以适应各器官和组织对血液供应量的需要，并协调各器官之间血量的分配，保证生理活动的顺利进行。

支配心脏和血管的外周神经是植物性神经，植物性神经系统

不仅支配心脏和血管，而且还支配全身其他内脏器官，实施对内脏功能的调节。

植物性神经中枢的部位分别在：

脊髓 脊髓是交感纤维和部分副交感纤维的发源地，是植物性神经系统的初级中枢。脊髓交感中枢可以完成基本的血管张力反射以维持血管一定紧张性。骶部脊髓是部分副交感神经纤维的发源地，它实现排尿、排便、发汗、阴茎勃起等功能。但这种反射调节是很初级的，不完备的。

低位脑干 延髓是维持生命所必需的中枢部位，人体的呼吸运动、心脏和血管运动、食管和胃肠运动等基本中枢都位于延髓。延髓是基本的生命中枢，损伤延髓可致死。

下丘脑 下丘脑是植物性神经的较高级的中枢部位，它能把内脏活动和机体其他生理活动联系起来，起着调节体温、营养摄取、水平衡、内分泌和情绪反应等重要的生理作用。

大脑皮层 是神经系统最高级部位，也是内脏活动的最高级调节和整合中枢。它对情绪反应、摄食行为、记忆以及心率、血压、呼吸、胃肠运动、瞳孔反应等功能都能起调节作用，使机体能适应复杂的变化多端的外部环境，保持内环境的稳定。例如，日常生活中常见的情绪、精神活动，特别是一些心理性应激，可以严重地影响机体的内脏活动，出现内脏功能的紊乱，都与大脑皮层对内脏活动的调节有关。

一、心血管活动的神经调节

1. 心血管的神经支配

(1) 心脏的神经支配。心脏接受心交感神经和心迷走神经的双重支配。

心交感神经节前纤维起自脊髓胸段的第 1~5 节灰质侧角，节后纤维进入心脏支配窦房结、房室交界、房室束、心房肌和心

室肌。其节后纤维末梢释放的神经递质为去甲肾上腺素，它与心肌细胞膜上的 β 肾上腺素受体结合，引起心率加快、心肌收缩力加强。

心迷走神经节前纤维起自延髓，到达心脏后在心内神经节换神经元，节后纤维支配窦房结、心房肌和房室交界等，少数纤维支配心室肌。其节后纤维末梢释放的神经递质为乙酰胆碱，它与心肌细胞膜上的 胆碱能受体结合，引起心率减慢、心脏收缩力减弱，以心率减慢显著。

长期进行体育锻炼，尤其是经常进行有氧运动，使机体安静时心率减慢。其原因，一方面是由于提高心迷走神经的紧张性有关，另一方面是与降低心交感神经的紧张性有关。

(圆 血管的神经支配。支配血管的传出神经纤维可分为两类：一类是引起血管平滑肌收缩的，称为缩血管神经纤维；另一类是引起血管平滑肌舒张的，成为舒血管神经纤维。两种统称为血管运动神经纤维。

①缩血管神经纤维。缩血管神经纤维属交感神经，又称为交感缩血管神经纤维。节后纤维末梢释放去甲肾上腺素，与血管平滑肌上的 α 受体结合，使血管平滑肌收缩，血管口径缩小，外周阻力增加，动脉血压升高。

在全身不同部位的血管，交感缩血管神经纤维分布密度有很大差异，其中以皮肤最密，骨骼肌和内脏的次之，冠状动脉及脑血管较少。

②舒血管神经纤维。体内仅有少数器官的血管是接受舒血管神经纤维支配的。这类神经纤维既有交感性，又有副交感性，它们的节后神经末梢所释放的递质均为乙酰胆碱，与血管平滑肌膜上的 胆碱能受体结合，使血管平滑肌舒张。

交感舒血管平滑肌纤维主要分布于骨骼肌血管，平时没有紧张性活动，只有在情绪激动或剧烈运动时发挥作用，使骨骼肌内

血管舒张，导致血流量增加，适应肌肉运动的需要。

副交感舒血管神经纤维主要分布在脑膜、唾液腺、胃肠外分泌腺和外生殖器的血管。这类纤维的运动，只对器官组织局部血液起调节作用，对循环系统总的外周阻力的影响很小。

心血管中枢

在中枢神经系统中，参与心血管活动的神经元集中的部位称为心血管中枢。它们分布在自脊髓到大脑皮层的各个水平。各自有不同的功能，又相互联系，使心血管活动协调并适应整个机体活动的需要。

(员) 延髓心血管中枢。延髓是心血管的基本中枢，它们可以分为心交感中枢和心迷走中枢两部分。心交感中枢兴奋，可引起心率加快，血管收缩，动脉血压升高；心迷走中枢兴奋，可引起心率减慢，血管舒张，动脉血压下降。

心交感中枢和心迷走中枢经常处于一定程度的兴奋状态，称为心交感紧张和心迷走紧张。二者的作用相反，但共同调节心脏活动。例如，当运动或情绪激动时，心交感紧张性占优势，使心率加快，心脏收缩力加大，动脉血压升高；当安静和睡眠时，心迷走紧张占优势，使心率减慢，动脉血压下降。

(圆) 延髓以上的心血管中枢。在延髓以上的脑干部分以及小脑和大脑中，都存在与心血管活动有关的神经元，它们对心血管活动与机体其他功能之间起复杂的整合作用。例如，下丘脑在体温调节、摄食、水平衡和发怒等情绪反应的整合中，起重要的作用；大脑，特别是边缘系统，能影响下丘脑和脑干其他部位心血管中枢的活动，并和机体各种行为的改变相协调。

在日常生活中，常见到当情绪紧张时（如有些运动员在进入比赛场地前），出现心跳加快，血压升高，这是大脑对心血管活动的调节作用。

心血管反射

当机体处于不同的生理状态，或者体内外环境发生变化时，可引起各种心血管反射，导致心率、心收缩力和血管舒缩的改变，以适应当时机体状态或环境变化的需要。

(员 颈动脉窦和主动脉弓压力感受器反射。在颈动脉窦和主动脉弓血管壁外膜下，分布有对血管壁的机械牵张变化非常敏感的压力感受器，如图 缘- 员所示。颈动脉窦的传入神经为窦神经，后加入舌咽神经到达延髓心血管中枢；主动脉弓的传入神经加入迷走神经到达延髓心血管中枢。

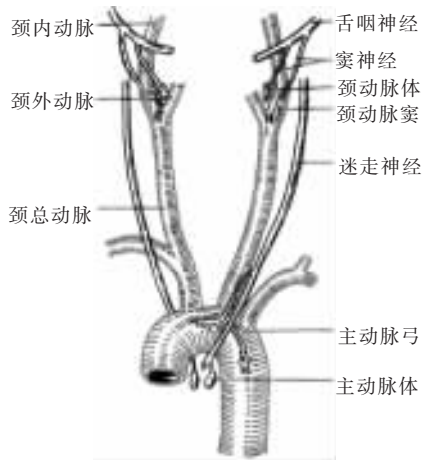


图 缘- 员 与心血管反射相关的压力感受器和化学感受器

当血压突然升高时，压力感受器所受的牵张刺激增强，使心迷走中枢紧张加强，心血管交感中枢紧张减弱，于是心率减慢，心缩力量减弱，外周血管舒张，动脉血压下降，故此反射又称减压反射。当动脉血压突然下降时，由于压力感受器的刺激减少，传入冲动减少，使心迷走中枢紧张减弱，心血管交感中枢紧张加强，导致血压升高。所以减压反射对突然上升、下降的血压有调

节作用，其生理意义在于缓冲血压的急剧变动，维持血压的相对稳定。但此反射对持续性血压变化无调节作用。

④ 颈动脉体和主动脉体化学感受性反射。在颈总动脉分叉处和主动脉弓区域，有颈动脉体和主动脉体化学感受器，当血液中的化学成分改变时，如：缺氧、二氧化碳分压和浓度升高时，这些化学感受器兴奋，沿窦神经和迷走神经传至延髓，引起延髓呼吸中枢和心血管中枢兴奋改变，导致呼吸加深、加快，间接引起心率加快，心输出量增加，外周血管阻力增加，动脉血压增加。

⑤ 本体感受性反射。分布在骨骼肌、肌腱和关节囊中的本体感受器，当肌肉收缩时，这些感受器受到刺激反射性地引起心率加快，血压升高。肌肉运动时心率加快，本体感受性反射发挥了一定作用。

⑥ 其他心血管反射。体内外任何刺激都能在一定程度上引起某些心血管反射，如：挤压眼球引起心率减慢；下腹部受撞击引起心率下降，外周血管扩张，血压下降；皮肤疼痛引起血压升高，内脏疼痛引起血压下降等。

二、心血管活动的体液调节

心血管活动的体液调节是指血液和组织液中的某些化学物质对心肌和血管平滑肌活动的调节。这些物质可分为三大类：激素、血液内气体的分压和血管活性物质，其中激素是通过血液循环，广泛作用于心血管系统，有些则是作用于局部血管，对局部组织的血流量起调节作用。

⑦ 肾上腺素和去甲肾上腺素

肾上腺素和去甲肾上腺素在化学结构上均属儿茶酚胺，血液中其主要来自肾上腺髓质，其中肾上腺素占 80% 左右，去甲肾上腺素占 20% 左右。交感神经节后纤维末梢释放去甲肾上腺素

也有一小部分入血。

肾上腺素和去甲肾上腺素都使心血管活动加强，血压升高，但两者的作用并不完全相同。这主要与两者和受体结合能力不同造成的。在心血管各处细胞膜上有与两者相结合的 α 受体和 β 受体。肾上腺素既能与 α 受体结合，又能与 β 受体结合，而全身血管骨肌细胞膜上的受体分布不一，皮肤、肾脏、肠胃等内脏管 α 受体占优势，肾上腺素可使这些血管收缩；骨骼肌、肝脏、冠状血管 β 受体占优势，肾脏素可使它们舒张。因此肾上腺素对血管调节作用是全身血流量重新分配。去甲肾上腺素主要与 α 受体结合，而心肌细胞膜只有 β 受体没有 α 受体。所以，去甲肾上腺素对心脏的作用较弱，但对血管的作用较强，可普遍引起血管收缩，导致外周阻力增加，从而使收缩压、舒张压和平均动脉均升高。

肾素—血管紧张素—醛固酮系统

当肾小球的入球小动脉的血压降低或血钠浓度降低时，入球小动脉壁中的近球细胞释放肾素，使血浆中的血管紧张素原水解成血管紧张素。

血管紧张素对心血管的作用，主要是血管紧张素 II 的效应，具有强烈的缩血管作用，尤其是内脏和皮肤，使外周血管阻力增大，故使血压升高。另外，它能直接加强心肌收缩力，并增加交感神经对心血管的作用。长期训练可以改善肾素—血管紧张素—醛固酮系统的机能，提高机体的运动性应激能力。血管紧张素 II 在运动性心肌肥大中有重要作用。

其他体液因素

(一) 激肽。具有很强的舒血管作用，在唾液腺、胰腺和汗腺处于分泌活动期间，均伴有激肽的生成，从而使这些器官的血管舒张，血流量增加，有利于分泌活动的进行。

(二) 前列腺素。全身各部位的组织均可生成前列腺素，具

有舒血管的作用，对局部血流进行调节。在进行剧烈运动时，肌肉的前列腺释放增加，对改善局部肌肉血流有一定的作用。

（猿 心钠素。由心房肌细胞合成和释放的心钠素，当回心血量增多，心房肌受到牵拉，可促进心钠素的释放，心钠素有舒张血管、降低血压、改善心率失常和调节心功能的作用。此外还引起肾排水和排钠增多，故又称其为心房利尿钠因子。在剧烈运动时，心钠素明显提高，对缓冲运动中的血压变化，调节水平衡，维持内环境稳态有重要作用。

（源 组织胺。许多组织，尤其是皮肤、肺及肠系膜的肥大细胞中富含组织胺。当组织受到损伤时，可释放组织胺，具有局部舒张血管作用，增加毛细血管壁的通透性，可形成局部水肿。

（缘 血管内皮生成的血管活性物质。血管内皮细胞生成和释放内皮舒张因子和内皮缩血管因子。具有舒张血管或收缩血管的功能。

三、血管活动的自身调节

血管的自身调节是指在阻断了神经、体液对血管的作用后，在一定的血压变动范围内，器官组织的血流量仍能通过局部血管自身的舒缩活动得到适当的调节，从而保持心输出量和器官血流量相对稳定。关于自身调节机制，有以下两种主要学说。

（一）肌源学说

许多血管平滑肌本身能经常保持一定的紧张性收缩，称为肌源性活动。当供应某一器官的血管其充盈压突然升高时，血管平滑肌因受牵张刺激而收缩，结果该段血管的血流阻力增大，器官的血流量不致因充盈压升高而增多，从而保持该器官的血流量相对稳定；反之，当器官血管的充盈压突然降低时，则发生相反的变化。

（二）局部代谢学说

组织细胞代谢需要氧，并产生多种代谢产物。当组织代谢活动增强时，则局部组织氧分压降低，代谢产物积聚增加（如 CO_2 、 H^+ 、 K^+ 等），能引起局部微动脉和毛细血管前括约肌舒张。因此，在肌肉运动时，有活动的肌肉代谢加强，血流量增多，为骨骼肌组织提供更多的氧，并带走代谢产物。

第五节 运动对心血管的影响

一、运动时血液循环功能的变化

肌肉收缩时，耗氧量增加。循环系统的适应性变化就是提高心输出量以增加血流供应，从而满足肌肉组织的氧耗，并及时运走过多的代谢产物，否则肌肉运动就不可能持久。

运动时心输出量的变化

运动一开始，心输出量就急剧增加，通常一分钟达到高峰，并维持在该水平。运动时心输出量的增加与运动量或耗氧量成正比。

运动时，由于肌肉的节律性舒缩和呼吸运动加强，回心血量大大增加，这是增加心输出量的保证。另外，运动时交感缩血管中枢兴奋，使容量血管收缩，体循环平均充盈压升高，也有利于增加静脉回流。

在回心血量增多的基础上，由于运动时心交感中枢兴奋和心迷走中枢抑制，使心率加快，心肌收缩力加强，因此心输出量增加。交感中枢兴奋还能使肾上腺髓质分泌增多，循环血液中儿茶酚胺浓度升高，也进一步加强心肌的兴奋作用。

运动时各器官血流量的变化

运动时心输出量增加，但增加的心输出量并不是平均分配给全身各个器官的。通过体内的调节机制，各器官的血流量将进行

重新分配。其结果是使心脏和进行运动的肌肉的血流量明显增加，不参与运动的骨骼肌及内脏的血流量减少。在运动开始时，皮肤血流也减少，但以后由于肌肉产热增加，体温升高，通过体温调节机制，使皮肤血管舒张，血流增加，以增加皮肤散热。

运动时血流量重新分配的生理意义，还在于维持一定的动脉血压。如果没有不活动器官的收缩血管效应，仅有运动的肌肉的舒张血管效应，总的外周阻力就会减小，动脉血压也就要降低，或者说，必须使心输出量大大增加，才能使动脉血压维持在原先的水平。

肌肉运动时动脉血压的变化

肌肉运动时动脉血压的变化，是许多因素改变后总的结果。换句话说，运动时的动脉血压水平取决于心输出量和外周阻力两者之间的关系。如果心输出量的增加和外周阻力的降低两者的比例恰当，则动脉血压变化不大，否则，动脉血压就会升高或降低。

在有较多肌肉参与运动的情况下，如步行时，肌肉血管舒张对外周阻力的影响大于其他不活动器官血管收缩的代偿作用，故总的外周阻力仍有降低，表现为舒张压的降低。另一方面，由于心输出量显著增加，故收缩压升高，而平均动脉压则可能比安静时稍低。

二、运动训练对心血管系统的影响

经常进行体育锻炼或运动训练，可促使人体心血管系统的形态、机能和调节能力产生良好的适应，从而提高人体工作能力。运动训练对心血管的长期性影响概括起来有以下几个方面：

窦性心动徐缓

运动训练，特别是耐力训练可使安静时心率减慢。某些优秀的耐力运动员安静时心率可低至 40~50 次·分⁻¹，这种现象称

为窦性心动徐缓。这是由于控制心脏活动的迷走神经作用加强，而交感神经作用减弱的结果。窦性心动徐缓是可逆的，即使安静心率已降到 40 次·分^原的优秀运动员，停止训练多年后，有些人的心率也可恢复接近到正常值。

一般认为，运动员的窦性心动徐缓是经过长期训练后心功能改善的良好反应，故可将窦性心动徐缓作为判断训练程度的参考指标。

运动性心脏增大

研究发现，运动训练可使心脏增大，运动性心脏增大与病理性增大在功能上是有极显著差别的。病理性增大的心脏扩张、松弛，收缩时射血能力弱，心力贮备低，心肌纤维内 乳酸脱氢酶活性下降，不能承受哪怕是轻微的体力负荷。而运动性增大的心脏，外形丰实，收缩力强，心力贮备高，其重量一般不超过 400g^原。因此，运动性心脏增大是对长时间运动负荷的良好适应。

近年来运动员超声心动图的研究结果表明，运动性心脏增大对不同性质的运动训练具有专一性反应。例如，以静力及力量性运动为主的摔跤和举重等运动员心脏的运动性增大是以心肌增厚为主；而游泳和长跑等耐力性运动员的心脏增大却以心室腔增大为主。也有心肌厚度增加，但心腔内半径与心壁厚之比维持在正常范围的说法。

心血管机能改善

一般人和运动员在安静状态下及从事最大运动时每搏输出量与每分输出量（每分输出量 = 心率 × 每搏输出量）的变化可用下列数据说明：

安静时

一般人：100 次·分^原 70 ml^原 7000 ml^原
运动员：100 次·分^原 100 ml^原 10000 ml^原

剧烈运动时

良好时，基础心率稳定并随训练水平及健康状况的提高而趋平稳下降。如身体状况不良或感染疾病等，基础脉搏则会有一定程度的波动。

在运动训练期间，运动量适宜时，基础心率平稳，如果在没有其他影响心率因素（如疾病、强烈的精神刺激、失眠等）存在的情况下，在一段时间内基础心率波动幅度增大，可能是运动量过大，身体疲劳积累所致。

安静心率是空腹不运动状态下的心率。运动员的安静心率低于非运动员，有的运动员安静心率可减慢到每分钟三十余次。不同项目运动员的安静心率也有差别，一般来说，耐力项目运动员的安静心率低于其他项目运动员，训练水平高的运动员安静心率较低。评定运动员安静心率时，应采用运动训练前后自身安静心率进行比较，运动后心率恢复的速度和程度也可衡量运动员对负荷的适应水平。

（四）评定心脏功能及身体机能状况

安静时，一般人和运动员心脏机能差异并不十分明显，只有在进行强度较大运动时，这种差异才能明显地表现出来。通过定量负荷或最大强度负荷试验，比较负荷前后心率的变化及运动后心率恢复过程，可以对心脏功能及身体机能状况作出恰当的判断。目前常用的定量负荷试验有联合机能负荷试验及台阶试验等。

测试受试者在定量负荷中或负荷后的心率还可测定 $\dot{V}_{O_2}$ 或间接推测受试者的最大摄氧量。根据 $\dot{V}_{O_2}$ 功率的大小可评定运动员的机能能力，根据最大摄氧量可评定运动员有氧工作能力。

心率的测定还可以检查运动员神经系统的调节机能，对判断运动员的训练水平有一定的意义。常用的卧倒一直立试验和直立—卧倒试验，通过测定试验前后的心率并根据心率增减次数可评定受试者植物性神经系统机能。

③ 控制运动强度

运动中的摄氧量是运动负荷对机体刺激的综合反应，目前在运动生理学中广泛使用摄氧量来表示运动强度。

阿斯特朗德等在 20 世纪 50 年代对 10 名男女成年人的研究证明，心率和摄氧量及最大摄氧量呈线性相关，并发现最大心率百分比和最大摄氧量的百分比也呈线性相关，这就为使用心率控制运动强度奠定了理论基础。运动即刻的心率测定，常用测 15 秒或 1 分钟的方法进行。

④ 血压

血压也是反映心血管机能状态的重要生理指标，在运动实践中有广泛的应用。

(1) 清晨卧床时血压和一般安静时血压较为稳定，测定清晨卧床血压和一般安静时血压对训练程度和运动疲劳的判定有重要参考价值。

随着训练程度的提高，运动员安静时的血压可略有降低，如果清晨卧床血压比同年龄组血压高 13.3 ~ 18.7 mmHg，持续一段时间不复原，又无引起血压升高的其他诱因，就可能是运动负荷过大所致。如果清晨卧床血压比平时高 13.3 mmHg 左右持续两天，往往是机能下降或过度疲劳的表现。

(2) 测定定量负荷前后血压及心率的升降幅度及恢复状况可检查心血管系统机能并区别其机能反应类型，从而对心血管机能作出恰当的判断。

(3) 运动训练时，可根据血压变化了解心血管机能对运动负荷的适应情况。由于收缩压主要反映心肌收缩力量和每搏输出量，舒张压主要反映动脉血管的弹性及外周小血管的阻力，因此运动后理想的反应应当是收缩压升高而舒张压适当下降或保持不变。从事静力性运动时，由于肌肉持续收缩压迫血管和腹腔内脏血管收缩，使外周阻力增大故舒张压显著升高。一般而言，收缩

压随着运动强度的加大而上升。大强度负荷时，收缩压可高达180mmHg或更高，舒张压一般不变或轻度波动。根据运动训练时血压的变化可判断心血管机能对运动负荷是否适应。

思考题

1. 心肌的生理特性有哪些？其生理意义如何？

2. 在一个心动周期中心功能产生哪些变化？

3. 影响心输出量的因素有哪些？

4. 试述动脉血压的形成及其影响因素。

5. 影响静脉回流的因素有哪些？

6. 试述心血管活动的主要调节机制。

7. 运动训练对心血管系统有何影响？

8. 何谓窦性心动徐缓？它是如何产生的？

9. 测定脉搏和血压在运动实践中有何意义？

优秀投掷运动员超声心动图特点的研究

投掷运动员在比赛和训练中都是以瞬间爆发用力为主要特点。这种发力方式会反射性地引起憋气动用，造成胸腹内骤增、心脏工作后负荷增大。但是，这种胸腹内压变化是“脉冲”式的（即短时增加，又瞬间下降），对心脏的刺激很短促，与举重、摔跤、柔道等选手的憋气用力有明显的区别。以往对心脏的研究多把投掷与举重、摔跤、柔道归类为力量性练习，甚至为静力性工作，这是一种不足。从理论和实践上都很有必要单独对投掷运动员的心脏进行研究，以探讨其在长期的投掷专项训练中变化的特殊性。

鉴于目前对普通人及耐力运动员的心脏研究基本达到了共识，本文应用超声心动图技术，以北京体育大学运动系一级以上的中长跑运动员和生物科学系及管理系的男生为对照，对北京体育大学运动系一级以上的投掷运动员在安静、运动负荷时及运动后恢复期的某些形态和功能特点进行研究。结果发现：

一、安静时的心脏功能

投掷组无论心室容量（ $\bar{V}_{sv}$ 和 $\bar{V}_{ed}$ ）还是心肌厚度（ $\bar{M}_{sw}$ 和 $\bar{M}_{wt}$ ）均显著地高于其他两组。但是，通过各指数值比较发现，投掷选手的这种心腔扩大和心肌肥厚现象并不是其专项的特异性训练效应，而是他们高大的身材造成的。因为各组身高体重有较大差异，所以用体表面积校正后的指数指标进行比较，才能真正反映训练因素对心脏的特异性影响。各指数指标显示：系统的运动训练可使心室容量产生适应性增大（两运动员组左室容量指数 $\bar{V}_{sv}/S$ 和 $\bar{V}_{ed}/S$ 均非常显著地高于普通组），但这种左室腔扩大不具有项目的特点（两运动员组间无差异），也不伴有心肌的增厚（三组左室壁厚度指数 $\bar{M}_{sw}/S$ 和 $\bar{M}_{wt}/S$ 均无显著性差异）。

系统的运动训练使心肌经常性受到交感神经的刺激，使其代谢增强，导致心肌的肥厚。本研究的受试者左室厚度指数之所以无差异，可能是在一般情况下，这些反映心室厚度的指标在心室收缩时变厚，舒张时变薄。尽管一般都把舒张末期的室壁及室间隔厚度（ $\bar{M}_{sw}$ 和 $\bar{M}_{wt}$ ）作为观察心室厚度的指标，但各组受试者的心脏即使是在安静状态下其充盈仍不同，比较起来准确性肯定会受影响。从三组安静状态的 $\bar{V}_{ed}$ 中可见，运动组的充盈程度似乎较大。这种充盈量的增加将使心室壁变薄，使可能已明显增厚的心室壁显示不出来了。当然，此还有待于通过对左室舒张功能的进一步深入研究。

从理论上讲，中长跑对心脏的负荷远超过投掷，两者的训练效应本应是有区别的。本研究结果两者的差别不在心脏的形态和结构上，而在于心脏的泵血功能上。结果表明，投掷组的每搏量（ $\bar{V}_s$ ）、心输出量（ $\bar{V}_o$ ）虽明显高于其他两组，但从 $\bar{V}_{sv}/S$ 和 $\bar{V}_o/S$ 可看出，这也是由于不同的体表面积造成的。而中长跑组则不然，它的 $\bar{V}_{sv}$ 和 $\bar{V}_{ed}$ 均显著地高于普通组，说明它有较强的泵血功能。另外，中长跑组的心率（ $\bar{f}_{心}$ ）在三组中最低且非常显著地低于普通组。这意味着它仅以较低的 $\bar{f}_{心}$ 就可以维持安静时 $\bar{V}_o$ 的需要。这是它在安静时有较高的 $\bar{V}_{sv}$ 所致，是长期耐力训练的结果，是投掷选手所不及的。

文献报道：运动员和普通者的射血分数（ $\bar{EF}$ ）、小轴缩短率（ $\Delta\bar{L}_{ax}$ ）和左室周径缩短率（ $\Delta\bar{C}_{ax}/\bar{C}_{ax}$ ）无显著性差异。本研究结果：两运动员组的这三个指标均显著地低于普通组，中长跑组的 $\Delta\bar{C}_{ax}/\bar{C}_{ax}$ 还显著地低于投掷组。

它显示出运动员组在安静状态下左室收缩能力节省化,尤其是中长跑选手在此显示出更大的潜力。运动员组安静时心肌收缩力偏低,可能因其较大的储备能够维持代谢的需要,这样可以使其在一旦心脏需要时有更大的潜力。

二、运动负荷及恢复期的心脏功能

关于运动负荷的超声心动图,国内外学者均有不少报道。多数研究者认为储备随负荷的增加而连续缩小。本研究结果是三组的储备在运动过程中未见规律性变化,其提高率变化曲线从运动到恢复过程有升有降,波动幅度均不大。组间比较,有几次时态的变化曲线差异较为明显。其中普通组的储备从安静到运动时提高率变化曲线上升幅度较为明显,这可能是因其外周阻力突然增加过多,影响了射血量,使心脏内残余血量过多的结果,这是普通组心血管调节能力较差的表现。在运动时储备的提高率及运动结束后第1分钟的提高率里,也可见到三组的差异较大。以投掷组与中长跑组在运动时储备提高率相比为例,此时投掷组下降储备,中长跑组却提高储备;运动结束至恢复期第1分钟的提高率里,投掷组提高储备,中长跑组仅提高储备。造成这种差异的原因可能是心肌收缩力和心脏充盈量不能同步变化造成的。

在负荷较低时(安静至运动),三组的储备均随负荷的增加而增加,同时心率和输出亦相应增加。但投掷组储备的提高更多地靠提高输出(提高率为储备),中长跑组为储备,普通组为储备),普通组储备的提高更多地靠提高输出(提高率为储备,另外两组分别为储备和储备)。说明普通组此时主要靠输出来提高储备,而两运动员组此时继续用提高输出和输出来提高储备。但投掷组输出的提高,更多地仍是靠心肌收缩力提高机制(投掷组输出提高率为储备,中长跑组仅为储备),中长跑组输出的提高,则更多地靠充盈量扩大机制(中长跑组储备提高率为储备,投掷组仅为储备)。相比之下,投掷组的心脏工作在大负荷情况下更“吃力”,中长跑组的心脏工作则更“从容”。从总的变化趋势来看,三组的输出、储备和输出均随运动负荷的增加而提高,随恢复时间的延长而降低。但中长跑组的这三项指标总提高率和总恢复率最高,普通组最低。中长跑选手显示出较大的泵血潜能。

综观各组在运动中总的变化趋势,本研究储备除外的各项指标均随负

荷强度的增加而提高，随恢复期时间的延长而降低。从各指标总提高率和总恢复率来看，中长跑组相对较高，显示出耐力选手的心脏功能潜力大、恢复快。投掷选手的心脏功能变化特点是：从安静至运动时，心率、血压、肺通气量提高率较高，显示出其心肌收缩力动员快；运动至运动后时，除外的各指标的提高率均为最低。相反，普通组此时均为最高，这可能与两者腿部力量有关。运动至运动后时，与心肌收缩能力有关的各指标提高率相对较高，与普通组相比，显示出心力贮备较大，与中长跑组相比，心力贮备的动员过早。

选自《中国运动医学杂志》1985年第4期

摇摇就像鱼儿离不开水一样，人类离不开氧，氧气是机体供能的重要条件。体育锻炼、运动训练或比赛都需要消耗较多的能量，这就意味着在非常短的时间内需要大量的氧气供给。这种需求往往一时得不到满足，但运动不会因此而停止。机体将采用什么方法渡过如此非常时期？为什么运动结束后，你会气喘吁吁？为什么你的呼吸经过休息后才能渐渐恢复正常？人体运载氧气的能力究竟有没有限度？是什么限制人体有氧工作能力的？搞清楚这些问题，无疑会对运动训练和体育锻炼有重要的指导意义。

第六章运动中氧的供应与消耗

第一节摇摇摇摇述

一、需氧量的概念

人体维持各种生理活动所需的能量和维持体温所需的热量，都来源于体内能源物质的氧化。为此，机体必须不断从外界摄取氧（ O_2 ），排出新陈代谢产生的二氧化碳（ CO_2 ）。人体氧化体内能源物质供代谢需要，以维持各种生理活动而需要的氧量，称为需氧量。需氧量与机体的代谢状态有关。静息状态下，正常人

的需氧量约为 $1.0 \sim 1.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ，而在激烈运动时每分需氧量可增加约 10 倍。

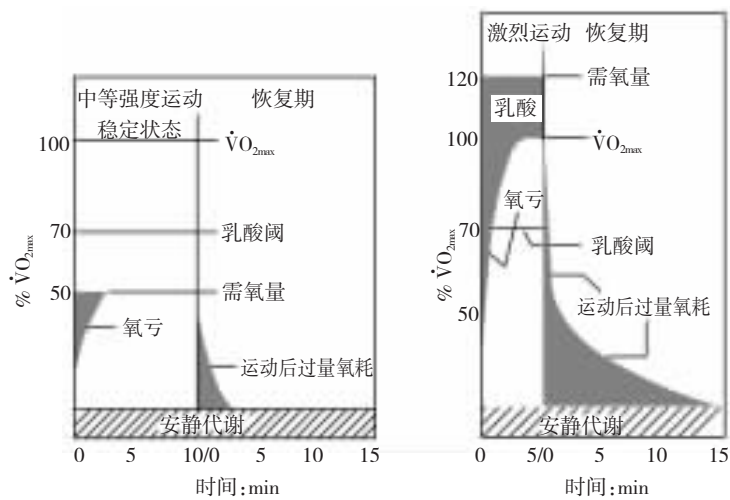
在运动中，需氧量与运动强度和运动的持续时间有关。运动强度越大（代谢率越高）、持续时间越长，则总需氧量越大。如：马拉松跑总需氧量达 100 L 以上，百米跑总需氧量为 1 L 左右；如果用每分解需氧量计算的话，百米跑可达 $1.5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ，而马拉松跑仅有 $0.1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

二、摄氧量的概念

在肺换气的过程中，并不是所有吸入肺的氧气都可以被机体利用。从肺泡扩散入肺毛细血管、并被人体实际消耗和利用的氧量，称为摄氧量。有时把摄氧量也称为吸氧量或耗氧量，通常以每分钟为单位计算摄氧量。安静时，机体代谢水平低，能量消耗少，每分摄氧量与每分需氧量是平衡的。运动时，随着运动强度的增加，每分需氧量成比例增加，摄氧量能否满足需氧量，取决于运动项目的特点。在持续时间短且强度大的运动中以及低强度运动的开始阶段，摄氧量均不能满足需氧量而出现氧的亏欠。

三、氧亏

在运动过程中，机体摄氧量满足不了运动需氧量，造成体内氧的亏欠称为氧亏。在进行强度大且持续时间短的剧烈运动中，即使氧的运输系统功能已经达到最高水平，但摄氧量仍不能满足需氧量而出现氧亏。同样，在低强度运动的开始阶段，由于内脏器官的生理惰性大，氧运输系统的功能不能立即提高到应有的水平，其摄氧量亦不能适应运动的需要。所以，在低强度运动的开始阶段也会出现氧亏（图 2-1）。



图远- 氧亏和运动后过量氧耗示意图

四、运动后过量氧耗

运动结束后，肌肉活动虽然停止，但机体的摄氧量并不能立即恢复到运动前相对安静的水平。将运动后恢复期处于高水平代谢的机体恢复到安静水平消耗的氧量称为运动后过量氧耗。

运动后恢复期的摄氧量与运动中的氧亏并不相等，而是大于氧亏。因此，运动后恢复期出现的过量氧耗，不仅用于运动中所欠下的氧，而且还要用于使处于较高代谢水平的机体逐渐恢复到运动前安静水平所消耗的氧量。研究表明，下列因素是影响运动后过量氧耗的主要原因。

体温升高

运动使体温升高，而运动后恢复期体温不可能立即下降到安静水平，肌肉的代谢和肌肉温度仍继续维持在一个较高水平上，

经一定时间逐渐恢复。实验证明, 体温和肌肉温度与运动后恢复期耗氧量的曲线是同步的。体温升高 1°C 时, 体内的代谢率可增加 13% 。据计算, 运动后恢复期耗氧量恢复曲线的慢成分, 有 $70\% \sim 80\%$ 是由于肌肉温度升高造成的。因此, 运动后体温较高是运动后耗氧量保持较高水平的重要原因之一。

肾上腺素的影响

运动使体内儿茶酚胺增加, 运动后恢复期仍保持在较高水平。去甲肾上腺素促进细胞膜上的 Na^{+} 运泵活动加强, 因而消耗一定的氧。

磷酸肌酸的再合成

在运动过程中, 磷酸肌酸 (CP) 逐渐减少以至排空, 在运动后 CP 需要再合成。在运动后恢复期, CP 的再合成需要消耗一定氧。

ATP 的作用

运动使肌肉细胞内 ATP 的浓度增加, 运动后恢复细胞内外 ATP 的浓度需要一定时间。ATP 有刺激线粒体呼吸的作用, 能使运动后的额外耗氧量增加。

甲状腺素和肾上腺皮质激素的作用

甲状腺素和肾上腺皮质激素也有加强细胞膜 Na^{+} 运泵活动的作用。运动后的一定时间内, 体内甲状腺素和肾上腺皮质激素的水平仍然较高, 因而使 Na^{+} 运泵活动加强, 消耗一定量的氧。

第二节 最大摄氧量 (VO_{2max})

运动中氧的供应取决于人体的运氧能力, 即人体能够最大限度地从外界摄入氧供代谢需要。机体能够最大限度利用摄入机体的氧的能力, 取决于骨骼肌的用氧能力。然而人体的运氧能力和用氧能力都是有限度的。随着运动强度的增加, 人体的代谢率提

高，摄氧量必然增加。可以想见当人体的运氧能力和用氧能力达到最大限度时，即使运动强度继续增加，摄氧量也不会再随运动强度的增加而增加（图 远-圆。此时的摄氧量，即为最大摄氧量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）。

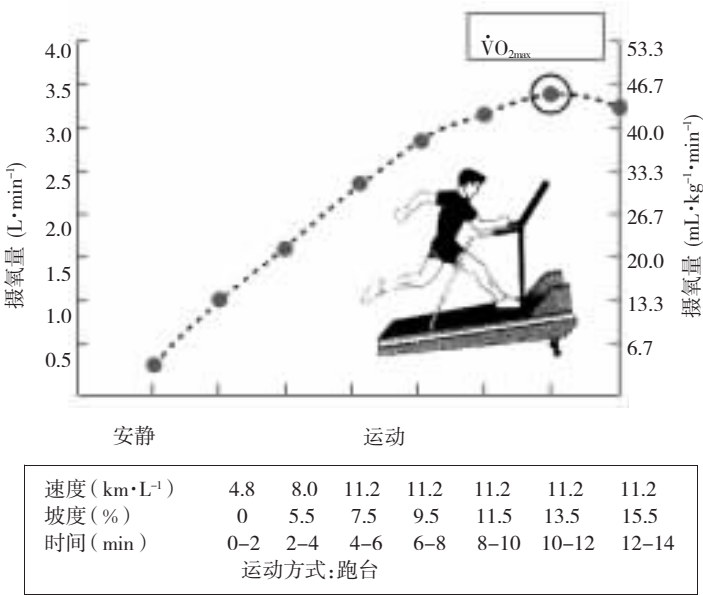


图 远-圆最大摄氧量测定示意图

最大摄氧量早期亦被称为“氧极限”，意为摄氧量不能逾越的界限。最大摄氧量常常用来反映运动员的有氧工作能力以及评定训练效果。最大摄氧量有两种表示方法，即绝对值和相对值。绝对值表示为 $\dot{V}O_{2max}$ ；相对值表示为 $\dot{V}O_{2max}/W$ （ W 为体重），即单位体重分得的每分最大摄氧量。一般人最大摄氧量约 30-40 $\dot{V}O_{2max}$ ，运动员可达 50-70 $\dot{V}O_{2max}$ 。图 远-猿为不同项目运动员的最大摄氧量。

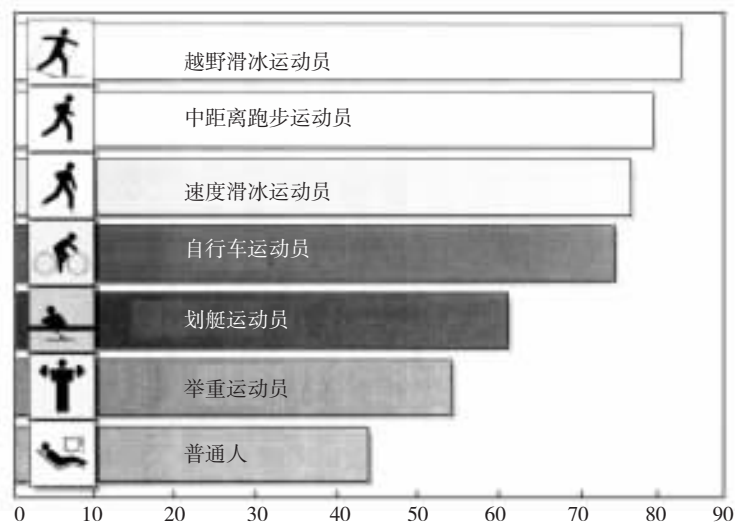
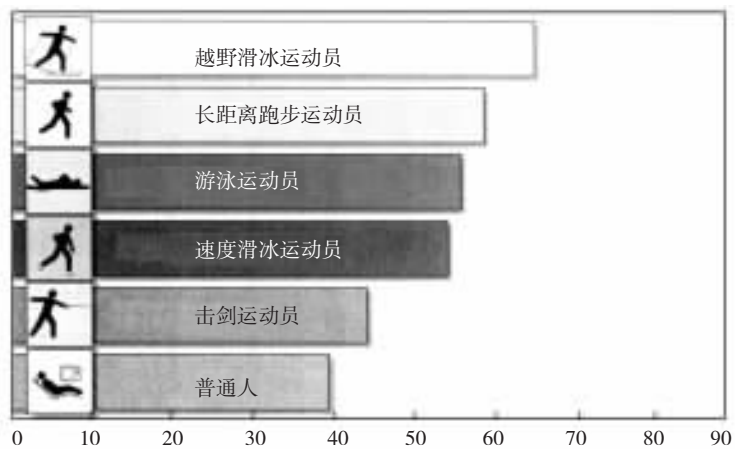


图 远 不同项目运动员的最大摄氧量 (L/min)

限制 的因素

我们知道，空气中的氧通过肺通气和肺换气弥散入血液，在

血液中与红细胞内血红蛋白结合，在心脏的推动下沿脉管系统到达活动肌肉附近，最终被肌肉利用，在有氧代谢酶的作用下氧化糖原、脂肪进行有氧代谢。为方便分析，将这一过程分为氧运输系统和氧利用系统（图 远-源）。

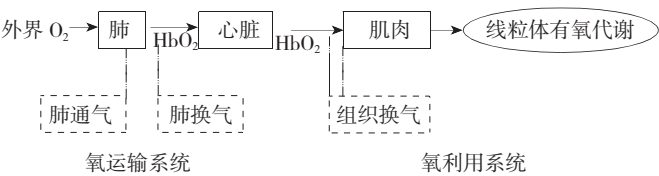


图 远-源 氧运输和利用过程

（员 氧运输系统

包括肺通气、肺换气和氧在血液中的运输等过程。

通过调节呼吸深度、节制呼吸频率可以提高肺通气。经过训练，呼吸机能提高并掌握呼吸要领，可吸入体内的氧就能增加。肺换气只是一个单纯的物理弥散过程，在运动中呼吸深度增加，肺毛细血管大量开放，肺泡与静脉间氧分压差增大，促进了弥散过程。然而，在激烈运动中，人体总是处于过度通气状态，也就是说，并不是所有吸入肺内的氧都通过肺换气进入血液。可见，肺通气、肺换气并不是限制 氧的 的主要因素。

血液中的氧主要与红细胞内的血红蛋白结合而被运输，血红蛋白含量的高低可决定血液的载氧能力。对于耐力运动员而言，维持一个适宜的血红蛋白含量具有重要意义。但是，当血红蛋白含量超过 圆缘 时，血液变得黏稠，心脏的负担增加，反而对机体不利。

血液中的氧，要在心脏的推动下才能到达用氧部位，单位时间内血液循环的量越多，运输到活动肌的氧就越多。对于优秀运动员而言，安静状态心输出量与常人无异，约为 缘 升 分钟；在

最大负荷运动时，一般人心输出量最多只能达到 $15\sim 20\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ，优秀运动员可达 $35\sim 40\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ ，是安静状态的 $5\sim 6$ 倍，可使摄氧量提高约 5 倍。可见心脏功能是限制摄氧量非常重要的因素。

目前认为，运动训练对最高心率几乎无影响，但可提高每搏心输出量，因此运动员的心输出量增加。每搏心输出量主要取决于心肌的收缩力量和心室腔容积。研究认为经过长期力量训练为主的运动员心脏主要表现为心室壁肥厚，心室腔容积变化不明显；而长期耐力训练为主的运动员心脏主要表现为心室腔容积增加，同时伴有心室壁肥厚，因此心脏的收缩能力提高，这是长期运动训练导致 $\dot{V}_{O_{2\max}}$ 增加的主要原因之一。

综上所述，心脏泵血功能，即心输出量是限制 $\dot{V}_{O_2}$ 的主要因素，是决定 $\dot{V}_{O_2}$ 的中枢因素，也是衡量有氧耐力的重要指标（图 $2-2$ ）。

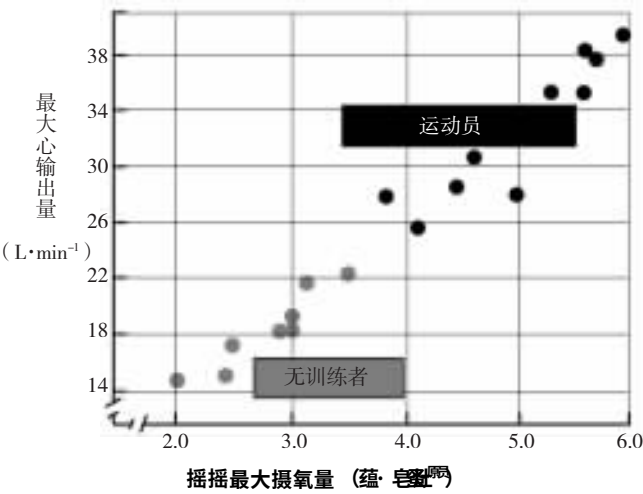


图 $2-2$ 最大心输出量和 $\dot{V}_{O_{2\max}}$ 的关系。

（四）氧利用系统

运输到活动肌的氧只有被利用，才能完成有氧代谢过程。最大摄氧量不仅取决于单位时间由血液运输到用氧部位的氧量（心输出量），还取决于用肌组织从中能够最大限度地得到多少氧（动—静脉氧差）。运动训练可导致骨骼肌从血液中摄取更多的氧，原因就是提高了骨骼肌的用氧能力。肌组织的用氧能力越强，则从动脉中摄取的氧就越多，动静脉氧差就越大。骨骼肌组织中高氧化供能的肌纤维是慢肌纤维，因此，慢肌纤维百分比、肌纤维与毛细血管比例、慢肌纤维中线粒体的密度、体积以及有氧代谢酶活性是限制骨骼肌用氧能力大小的重要因素。

目前认为，肌纤维类型及其用氧能力是限制 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 的外周因素。

综上所述， $\dot{V}_{O_{2max}}$ 反映了机体运输氧和利用氧的能力，也就是呼吸循环系统以及线粒体的功能和能力，其中心脏的泵血功能，即心输出量是限制 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 的中枢因素，肌纤维类型及其用氧能力是限制 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 的外周因素。

（五） $\dot{V}_{O_{2max}}$ 与有氧工作能力

在高强度持续运动中，运动员需要很强的维持有氧代谢的能力。有氧工作能力对耐力运动员非常重要，是取得好成绩的基本条件。在能源物质充足的情况下，保证体内有充足的氧供，才能保证有氧代谢的持续进行。优秀的耐力运动员， $\dot{V}_{O_{2max}}$ 绝对值是正常人的 2 倍，但并不是说 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 是决定有氧耐力的唯一因素。其他肌肉水平的因素，如毛细血管的数量、密度，酶活性以及肌纤维类型，亦是影响有氧工作能力的重要因素。

无论如何， $\dot{V}_{O_{2max}}$ 提供了有氧耐力的重要信息，反映出呼吸系统、心血管以及线粒体的功能和能力，标志着人体有氧耐力的最大潜力，是运动生理学中衡量有氧耐力的基本指标。

影响 $\dot{V}_{O_2}$ 测定量的因素

(员) 运动项目的特点

目前已经肯定,对同一受试者采用不同运动形式所测得的 $\dot{V}_{O_2}$ 有差别,原因是不同的运动形式参与运动的肌群不同。对同一受试者采用跑台测得的 $\dot{V}_{O_2}$ 最高,显著高于功率自行车的测定结果;用手摇练习测定的 $\dot{V}_{O_2}$ 数值只有跑台测定的 $\frac{1}{2}$ 左右。而对于有训练的游泳运动员,采用游泳练习测定的 $\dot{V}_{O_2}$ 甚至可超过跑台的测定结果。因此,测定 $\dot{V}_{O_2}$ 时应采用与运动员的专项相似的运动形式。

(圆) 训练情况

$\dot{V}_{O_2}$ 测定时应该考虑运动员的训练情况。一般而言,通过训练有氧工作能力可提高约 20%~40%,亦有报道提高 50%。训练后,采用与专项差别很大或相似的运动形式测定 $\dot{V}_{O_2}$,有可能得出相互矛盾的结论,因此应该考虑运动员的训练状况。

(猿) 性别

一般而言,女性的 $\dot{V}_{O_2}$ 绝对值低于男性的 50%~60%,即使对有训练的运动员这一差异也在 50%~60%;当采用相对值表示 $\dot{V}_{O_2}$ 时,差异变小。如世界级男女越野滑冰运动员的 $\dot{V}_{O_2}$ 绝对值男女相差 50% (男 3.5 L/min,女 2.5 L/min),而相对值相差 50% (男 3.5 L/min,女 2.5 L/min)。这种 $\dot{V}_{O_2}$ 的性别差异在于,男子的血红蛋白含量较女子高 50%~60%,因此男子在运动中血液可运载更多的氧;另外,男子的瘦体重高于女子,体脂含量 (20%) 低于女子,因此肌肉的用氧能力强于女子。

(源) 身体成分

男女 $\dot{V}_{O_2}$ 的差异中 20% 归于体重、50% 归于身高、50% 归于瘦体重。表 2-1 显示男女 $\dot{V}_{O_2}$ 和身体成分方面的差异,说

明男女有氧工作能力的差异主要是因为参与工作的肌肉体积不同所致。

表 远- 员摇男女 灾韵 和身体成分的差异

项摇摇目	女子	男子	差异豫
灾韵 (蕴·皂皂 ^原)	1000	1500	原50
体重 (噪)	50	70	原20
体脂豫	15	10	垣5
瘦体重 (噪)	35	60	原25
灾韵 (皂皂·噪 ^原 ·皂皂 ^原)	1000	1500	原50
灾韵 (皂皂·噪 ^原 ·皂皂 ^原)*	1000	1500	原50

摇摇*：此为瘦体重重量。

(缘 年龄

灾韵 随年龄的增长而有所变化，在生长发育期增长最快，随后有下降的趋势。在 远岁约为 1000 蕴·皂皂^原，15 岁可达约 1500 蕴·皂皂^原。女子 灾韵 峰值平均年龄为 15 岁，随后趋于下降。15 岁左右男女相差约 50 豫，15 岁差异增加到 20 豫。远- 15 岁男子 灾韵 相对值变化不大，约为 1500 蕴·皂皂^原；而女子一般从 1000 蕴·皂皂^原 降至 1000 蕴·皂皂^原。15 岁后直至 15 岁，灾韵 逐年下降约 10 豫。各年龄段，经常参加运动的人可较一般人有更高的 灾韵。图 远- 远为男女 灾韵 随年龄变化的情况。

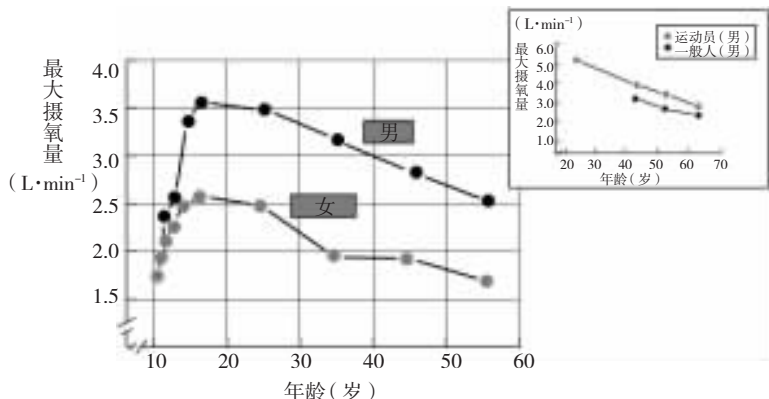


图 2-2-1 最大摄氧量随年龄的变化情况

最大摄氧量的测定方法

(一) 直接测定法

直接测定法通常在实验室条件下进行,测定大肌群运动的逐级递增负荷过程中受试者摄氧量的变化,同时测定受试者在各级负荷的通气量,并分析其呼出气中的氧和二氧化碳含量,计算出各级负荷工作时的摄氧量。当进一步增加运动强度,而受试者的摄氧量不再随运动强度的增加而增加,或增加甚少(圆毫),则此时的摄氧量即为最大摄氧量(VO₂max)。测定VO₂max时常用的运动器械包括跑台、功率自行车和一定高度的台阶等。

判定VO₂max的标准应符合以下参考标准的三项:

- ①呼吸商 跃或接近 跃;
- ②肺通气量接近或大于 跃;
- ③心率 跃次·分钟;
- ④测试结束后第二分钟血乳酸 跃 (跃);

⑤受试感到非常累，几乎达到力竭。

（四）间接预测 $\dot{V}_{O_{2max}}$

直接测定 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 有许多困难，需要特定的实验设备，对受试者方面要求达到力竭，因此多在实验室进行、不便于进行大样本的测定。对于那些没有医学检查、缺少适当医务监督的人，测定可能有潜在的危险，因此， $\dot{V}_{O_{2max}}$ 的测定多数采用间接预测的方法。测试方法有 马库拉-坎农间接推算法、亨德里森推算法、纳尔逊-坎农-史密斯线法等（保健学中还有详细介绍）。

第三节 摇个体乳酸阈（ LT_{50} ）

前已述及 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 标志着人体进行最大有氧代谢的潜力，事实上任何人都不可能在达到 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 水平时仍然能维持有氧代谢（心率 $180 \text{次} \cdot \text{分钟}^{-1}$ 以上），而且 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 受遗传的影响大。有人研究了生活在同一城市、具有相似家境的 对象对同卵孪生子和 对象对异卵孪生子，发现 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 差异的 程度取决于遗传。当经过长期系统训练后， $\dot{V}_{O_{2max}}$ 达到一定水平，再训练提高不多，然而运动员的成绩却提高了，也就是说，运动员耐力成绩的提高并不一定伴随着 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 的提高。这使我们不得不把目光放在了摄氧量的最终所在地——肌肉。下面我们介绍个体乳酸阈的概念。

一、无氧阈的废弃与个体乳酸阈的概念

无氧阈是指人体在递增强度的运动中，由有氧代谢供能转向大量动用无氧代谢供能的临界点（转折点）。通常以 乳酸阈（血乳酸拐点）对应的运动强度（ $\dot{V}_{O_{2max}}$ 强度）或功率（无氧阈功率）来表示（图 远-苑，它是一个陈旧的概念。

缺氧状态得以改善。因此,在逻辑上,经过训练,同一负荷下耗氧量应该增加,但事实并不支持这样的推论。实验证明,经过训练后乳酸减少时耗氧量并未增加,说明乳酸的清除还有其他途径,肌肉也并不缺氧。

第二,研究发现线粒体的临界氧分压约为 $10.65 \sim 13.33 \text{ kPa}$ 。当氧分压低于此值,线粒体就不能维持最大呼吸速率,意味着肌肉缺氧。有人发现,即便是在下肢极量运动时,股静脉氧分压仍高于 13.33 kPa 。当运动强度接近 100% 时,股静脉氧分压约 $10.65 \sim 13.33 \text{ kPa}$,大大高于临界氧分压,即肌肉不缺氧。

第三, P^{15}O 等证明,在充分氧和的情况下肌肉也会产生乳酸。最后, P^{15}O 认为,在亚极量运动中,心输出量、肌肉血流量、毛细血管扩张能力和动-静脉氧差都还有较大的储备,所以肌肉并不缺氧。后来 P^{15}O 等验证,赛前状态运动员心理紧张,血乳酸较安静状态升高 4 倍左右。这时肌肉不缺氧(没有体力活动),而是因为交感神经兴奋导致儿茶酚胺分泌增加和其他一些能够影响乳酸代谢的因素造成的。

对无氧阈理论最大的挑战,莫过于对麦克阿特病人的研究,此病患者肌肉中遗传性缺少磷酸化酶,因此他们不能分解糖原生成乳酸。运动中用通气阈检查这类患者,即使他们的血乳酸无变化,但通气无氧阈同样出现在常人血乳酸拐点的对应位置。因此肺通气无氧阈并不依赖于血乳酸的增加,否定了肌肉缺氧、乳酸生成量骤增和肺通气阈改变的因果关系。

此外,对无氧阈“阈”的概念也发生过动摇。实验证实,无氧阈值动摇在血乳酸浓度在 $4.0 \sim 7.0 \text{ mmol/L}$ 之间,并不能以 4.0 mmol/L 作为统一标准。

由此,无氧阈血乳酸值的拐点并不是因为体内缺氧或“无氧”产生的,因此无氧阈的“无氧”就不够确切。又因为以 4.0 mmol/L 血乳酸浓度作为通用的“阈”不适当,因此不应设

立统一标准。另外，有训练的运动员长期训练后可导致无氧阈值右移，而停训后又左移。

综上所述，目前大多数人认为，为了在运动过程中血乳酸的变化描述得更客观、科学，改称“个体乳酸阈”更合适。所谓个体乳酸阈是指个体在递增负荷运动中血乳酸骤增的区域。需要指出的是个体乳酸阈应该是乳酸曲线上的一个区域而不是一个点。

二、个体乳酸阈与有氧运动能力

显而易见，耐力运动员能有更高的个体乳酸阈水平。经过系统耐力训练后，个体乳酸阈可以提高，而且并不需要最大摄氧量的显著改善，因而个体乳酸阈是决定亚极量运动能力的一个重要指标，反映了骨骼肌的代谢水平。

与 $\dot{V}_{O_{2\max}}$ 比较，个体乳酸阈的测定更能反映运动员的有氧耐力水平，所以，个体乳酸阈是评定有氧耐力水平的重要的生理指标。人体一般而言， $\dot{V}_{O_2}$ 主要依赖心肺系统功能，当运动员的心输出量达到一定程度时 $\dot{V}_{O_2}$ 的增加受到限制。而乳酸阈则与骨骼肌代谢水平更密切，高水平运动员训练后心输出量增加甚少时，骨骼肌线粒体氧化酶系的活性可成倍增加。专家指出，运动员的耐力不仅表现在 $\dot{V}_{O_2}$ 水平上，更重要的是表现在对 $\dot{V}_{O_2}$ 的利用率上。一个高水平的运动员可将运动强度维持在 $\dot{V}_{O_2} \sim 70\% \dot{V}_{O_{2\max}}$ ，而不破坏血乳酸浓度的稳定水平。

理论与实践都证明，个体乳酸阈强度是发展有氧耐力的最佳强度。它可使训练者花费最小的生理代价，取得最大的训练效益。

思考题

关键词解释：

需氧量 摄氧量 氧亏 运动后过量氧耗 最大摄氧量 无氧阈

个体乳酸阈

问题 测定最大摄氧量时，判定达到最大摄氧量的标准是什么？为什么？

提醒 为什么最大摄氧量不是影响有氧耐力的唯一因素？

提醒 为什么要建立“个体乳酸阈”的概念？

思考 与最大摄氧量相比，为什么“个体乳酸阈”更能反映运动员的有氧工作能力？

摇摇古人云：“民以食为天”。据统计，假如人的寿命为 70 岁的话，一生可吃掉 70 吨左右的食物。人类从这么多的食物中真正得到了什么呢？是化学能，是它维持了这个世界的运转。人类是怎样巧妙地从食物中摄取这些化学能，贮存于体内，并在必要时释放以维持人生理功能的呢？

第七章 物质代谢

人体与其周围环境之间不断地进行物质交换的过程称物质代谢。人体不断从外界环境中摄取营养物质，并在体内经过一系列的转化，合成为人体新的组成成分，或转化成能源物质贮存于体内，此过程称同化作用。与此同时，人体本身原有的组成成分不断分解，能源物质不断消耗，释放能量供人体利用，此过程称异化作用。物质代谢包括同化作用和异化作用两个方面。广义的物质代谢过程包括：消化与吸收、中间代谢和排泄三个阶段。中间代谢是在细胞中进行的，它包括物质的合成（同化作用）与分解（异化作用）两个方面。其具体细节和过程属生物化学的内容，本章只扼要介绍糖、脂肪和蛋白质的消化吸收，在体内的分解代谢以及代谢尾产物的排泄。

第一节 消化

人体从膳食中摄取的各种营养物质，其中蛋白质、脂肪和糖类是难于溶解的大分子物质，不能被机体直接吸收，必须先在消

消化道内经过消化，使之变成结构简单的可溶性物质，才能通过消化道黏膜的上皮细胞吸收进入血液，供机体组织进一步代谢。食物在消化道内的分解过程称为消化。消化的方式有两种：一是通过消化道肌肉的舒缩活动将食物磨碎，并与消化液充分混合，同时将食物不断地向消化道远端推送，这种消化方式称之为机械性消化；另一方面，是通过消化腺分泌的消化液中的酶，将蛋白质、脂肪和糖类等物质进行分解成为小分子物质的过程，这种消化方式称之为化学性消化。通常这两种方式的消化作用是同时进行、互相配合的。

一、口腔内消化

消化过程是从口腔开始的，食物在口腔内停留的时间很短，一般是 5~15 秒。食物在此通过咀嚼，被唾液湿润而便于吞咽。由于唾液中的唾液淀粉酶的作用，食物中的淀粉还在口腔内便开始分解。食物在经咀嚼吞咽后，通过食道经贲门入胃，胃有暂时储存食物和部分消化食物的功能。

唾液腺及其分泌

人的口腔内有三对唾液腺：腮腺、颌下腺和舌下腺。它们分泌的物质是唾液，经导管流入口腔。正常成人每天大约分泌 1~1.5 L 唾液，唾液近于中性，其主要作用是：(1) 湿润口腔和溶解食物，以便吞咽；(2) 唾液淀粉酶可分解淀粉，使之成为麦芽糖；(3) 唾液有清洁和保护口腔的作用；(4) 唾液对胃肠机能有调节作用。唾液的分泌完全受神经反射的调节。

咀嚼和吞咽

食物在口腔内经咀嚼被牙齿撕裂和研碎，并与唾液充分混合，形成食团，便于吞咽。

吞咽是一连串的反射动作。食团刺激舌根和咽部黏膜后，就引起舌向后推，喉向上提，会厌下压，封闭鼻咽通路等动作，使

食团进入食管，食管蠕动将食团下推，经贲门入胃。从吞咽到食团入胃，需时 远~苑秒

二、胃肠道的消化过程

胃内消化

食物入胃后，受到胃壁肌肉运动所致的机械性消化和胃液的化学性消化，使部分食物，如蛋白质，得到初步的分解，并使胃内容物混合成食糜状态。

(员 胃内化学性的消化。胃黏膜有三种管状外分泌腺和多种内分泌细胞，胃液就是由它们和胃黏膜上皮细胞的分泌物组成。胃黏膜内还有内分泌细胞，如分泌胃泌素的 郧细胞等。

胃液呈酸性，为 圆怨~ 圆缘 其中主要成分有盐酸、胃蛋白酶和黏液，正常人每日分泌量约为 员圆~ 圆缘 胃液中的盐酸又称胃酸，其主要作用是：激活胃蛋白酶原成为胃蛋白酶，并为胃蛋白酶的作用提供适宜的酸性环境；使食物中的蛋白质变性而易于分解；抑制和杀灭进入胃内的微生物。

胃蛋白酶原在胃酸的作用下被激活成有活性的胃蛋白酶，它是胃液中主要的消化酶。胃蛋白酶的主要作用是使蛋白质水解成为蛋白胨和蛋白肽，以及少量的多肽。

胃液分泌受许多因素的影响，其中有起兴奋作用的，也有起抑制作用的。进食是促进胃酸分泌的自然刺激，食物的形状、气味以及进食动作等刺激，均可促使胃液分泌。盐酸、脂肪和高渗溶液以及进食时情绪的恶劣对胃液分泌都有抑制作用。

(圆 胃内的机械消化。根据胃的运动功能，可将胃分为头区（包括胃底和胃体的前一部分）和尾区（包括胃体的远端和胃窦）两个区域，前者主要功能是贮存食物；后者因有明显的运动，具有磨碎食物与胃液充分混合以形成食糜，且逐步地将食糜排至十二指肠，故具有一定的消化功能。

食物进入胃内缘蠕动后,蠕动即开始,胃蠕动是从胃的中部开始,有规律地向幽门方向推进。胃蠕动的主要生理意义:一方面使食物与胃液充分混合;另一方面是搅拌和粉碎食物,形成食糜,并逐渐将胃内容物推送进到十二指肠。食物由胃排入十二指肠的过程称胃的排空。食物在胃内停留的时间依食物的量和质以及胃运动的情况而定,糖类食物的排空时间较蛋白质为短,脂肪类食物排空最慢。一般来说,液体在胃内停留缘-缘左右,固体食物停留时间较长,通常混合性食物的排空时间为源-远。

二、小肠内消化

食糜由胃进入十二指肠后,便开始了小肠内消化,小肠是食物消化过程中最重要的部位。在小肠中食糜受到胰液、胆汁和小肠液的化学性消化及小肠运动的机械性消化,大多数营养物质都消化到能被吸收的程度,并由小肠上皮吸收入血。食物在小肠内停留时间,随食物性质而有所不同,一般约为猿-愿。

(一) 胰液。胰液由胰腺的胰细胞分泌,经导管流入十二指肠。胰液为无色碱性液体,其pH值约为7.8-8.8。成人每日分泌量约为员-圆L。胰液的主要成分及其作用是:胰液中含有丰富的消化酶,其中有胰蛋白酶原和糜蛋白酶原、胰脂肪酶、胰淀粉酶和肠激酶等。胰蛋白酶原在肠激酶的激活下转变为胰蛋白酶,胰蛋白酶催化蛋白质和多肽分解成为氨基酸;胰蛋白酶还可激活糜蛋白酶原为糜蛋白酶,糜蛋白酶有凝乳作用;胰脂肪酶和胰淀粉酶分别催化脂肪和淀粉的水解,使之成为脂肪酸、甘油和葡萄糖。

胰液中除含有消化酶外,还含有重碳酸盐(碳酸氢盐),故胰液呈碱性。重碳酸盐的作用是中和进入肠内的胃酸,使肠内容物偏碱性,有利于胰酶的活动,也保护肠黏膜免受强酸的侵蚀。

(二) 胆汁。胆汁是由肝细胞不断生成,由肝管流出,经胆总管注入十二指肠,或由肝管转入胆囊管而存贮于胆囊,当消化时再由胆囊排至十二指肠。胆汁是具苦味,呈黄褐色或金色的液

体，称为肠源

成人每日胆汁的分泌量约为 1000~1500ml 胆汁的成分很复杂，除水外，还有胆色素、胆盐、胆固醇、脂肪酸、卵磷脂及无机盐等。胆汁中无消化酶，它的消化作用主要是通过其中的胆盐来实现的。胆盐对于脂肪的消化吸收具有重要作用，其作用是：降低脂肪表面张力，乳化脂肪，使之变成微粒，分散于水中，从而增加它与胰脂肪酶的接触面积，使脂肪分解速度加快。此外，胆盐与脂肪酸结合，形成水溶性复合物，以促进脂肪酸的吸收。胆盐对脂溶性维生素（维生素A、D、E、K）的吸收也有促进作用，胆汁还是胆汁自身分泌的一个体液因素。

（二）小肠液。小肠液由小肠黏膜内的肠腺分泌，呈弱碱性，pH约为7.5~8.5 正常成人每天分泌量约 1~1.5L 小肠液中含有多种消化酶，与胰液和胆汁一起，对蛋白质、脂肪和糖类食物进行分解。

小肠液的分泌是经常性的，在不同的条件下分泌量的变化可以很大，其分泌受神经和体液因素的调控。

（三）小肠的运动。小肠的运动形式包括紧张性收缩，分节运动和蠕动三种。

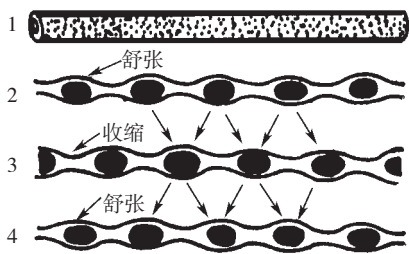


图 15-15 小肠的分节运动模式图
（A）肠管表面观；（B）肠管切面观

小肠平滑肌的紧张性收缩是其他运动形式有效进行的基础。

当小肠紧张性降低时，肠腔易于扩张，肠内容物的混合和转运减慢；相反，小肠紧张性升高时，食糜在小肠内的混合与转运就加快。

分节运动是一种以环行肌为主的节律性收缩和舒张运动，其作用是使食糜反复地分割成许多节段（图 7-15），使食糜得以不断地分开，又不断地混合，有利于食糜和消化液的充分混合，便于进行化学性消化。此外，它还可使食糜与肠壁紧密接触，为吸收创造良好的条件；分节运动还能挤压肠壁，有助于血液与淋巴的回流。

蠕动是肠壁环形肌和纵行肌从上向下依次进行的收缩和舒张活动。蠕动的意义在于使经过消化的食糜向前推进。小肠蠕动的速度较慢，把食糜推进约 1 厘米·秒⁻¹，也就是说，食糜从幽门部到回盲瓣，大约需历时 2 小时。

大肠内的消化

人的大肠没有重要的消化活动，其主要功能是吸收水分，并作为消化后残余物质的暂时贮存所。

（一）大肠液。大肠液为碱性（pH 为 7.5~8.5），而黏稠的黏液，它能保护肠黏膜和润滑粪便。大肠液的分泌主要是由食物残渣对肠壁的机械性刺激所引起。

大肠内有许多细菌，细菌中含有的酶能使食物残渣和植物纤维分解（发酵和腐败）。所谓大肠内的消化，就是指大肠内细菌对食物残渣的分解作用。大肠内细菌还能利用肠内存在的某些简单物质合成复合维生素 B 和维生素 K，经肠壁吸收入血，对人体起营养作用。

（二）大肠的运动与排便。大肠的运动形式有：袋状往返运动、分节或多袋推进运动和蠕动三种。大肠的运动比小肠弱。对刺激的反应也比较迟缓，适宜于粪便的暂时停留。此外，大肠还是一种进行很快，且前进很远的集团蠕动。集团蠕动常始于横结

肠，每日进行 10~15 次，多在进食后。

食物残渣在大肠内停留时间较长，一般在 12 小时以上。正常人的直肠通常是空的，没有粪便存在。当集团蠕动将粪便推入直肠时，刺激直肠壁内的感受器，冲动经盆神经和腹下神经传至脊髓腰骶部的初级排便中枢，同时也上传到大脑皮层，引起便意和排便反射。

第二节 吸收

各种食物的消化产物、水、维生素和无机盐，经肠黏膜细胞进入小肠绒毛的淋巴管和毛细血管的过程称为吸收。

一、吸收的部位和机制

消化管的不同部位吸收能力和速度是不同的，这主要取决于各部位消化管的组织结构和食物在该部位被消化的程度与停留时间。在口腔和食道内食物是不被吸收的，胃只能吸收酒精和少量水分；小肠是吸收的主要部位。糖、脂肪和蛋白质的消化产物大部分是在十二指肠和空肠吸收的（图 2-10），大部分的营养成分在到达回肠时已被吸收完毕，但胆盐和维生素 B₁₂ 的吸收则发生在回肠。小肠内容物进入大肠时，大部分物质都已被吸收殆尽。大肠主要吸收水和盐类，一般认为，结肠吸收进入大肠内水分的 1/3 和 1/2 的电解质和 1/3 的维生素。

小肠是营养物质吸收的主要部位，人的小肠长约 5 米，它的黏膜具有环形皱褶，并有大量绒毛。绒毛是小肠黏膜的微小突出结构，其长度约 0.5~1 毫米。绒毛的表面为一层柱状上皮细胞，在显微镜下可见顶端有明显的纵纹，是柱状细胞膜在顶端的突起，被称之为微绒毛（图 2-11）。人的小肠绒毛上，每一柱状上皮细胞的顶端约有 1000 条微绒毛。由于环状皱褶、绒毛和微

绒毛的存在，可使小肠吸收面积增加约 200 倍，面积达 200 平方米左右。另外，食物在小肠停留时间较长（3~8 小时），这对小肠的吸收都是非常有利的条件。

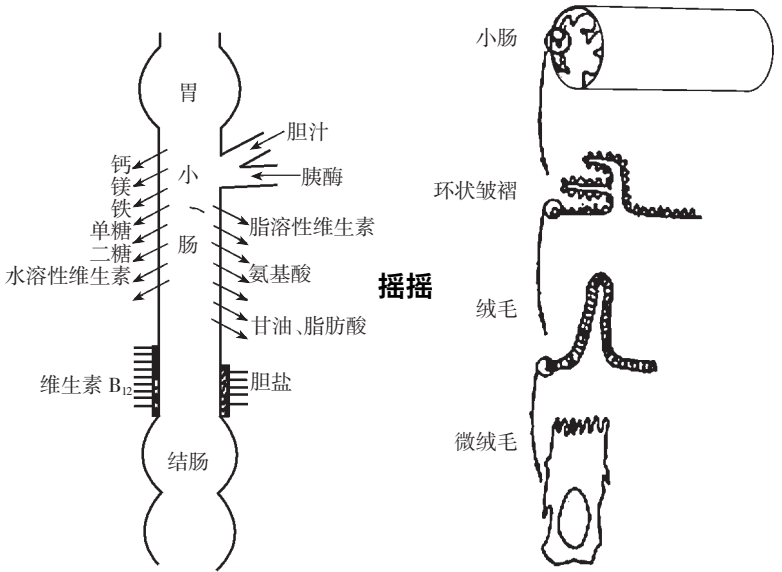


图 7-1 各种主要营养物质在小肠的吸收地点 图 7-2 小肠的皱褶、绒毛和微绒毛模式图

营养物质和水分的吸收，通过两条途径进入血液和淋巴。一条为跨细胞途径，即通过绒毛柱状上皮细胞的腔面膜进入细胞内，然后再从细胞的底侧面膜进入血液和淋巴；另一条是旁细胞途径，即物质或水是通过细胞与细胞之间的紧密连接处进入细胞间隙，再转入血液或淋巴的。

二、主要营养物质的吸收

肠所吸收的物质，不仅是由口腔摄入的经过消化的物质，而

且分泌入消化管的各种消化液本身所含的水分、无机盐和某些有机成分也被重吸收。

糖的吸收

糖类必须消化为单糖才能被小肠上皮细胞主动吸收，各种单糖与载体的亲和力不同，故其吸收速率也不同。通常，最主要的是以葡萄糖作为糖的吸收单位的，吸收后的糖几乎全部进入血液。

蛋白质的吸收

无论是食入的蛋白质，还是内源性蛋白质，经消化分解成氨基酸后才能被小肠主动吸收。一般认为中性氨基酸的转运比酸性或碱性氨基酸的速度快。吸收后的氨基酸全部进入血液。

脂肪的吸收

在小肠内脂类的消化产物脂肪酸、甘油、胆固醇等能与胆盐形成水溶性混合微胶粒，通过覆盖于小肠绒毛表面的非流动水层到达微绒毛上。在这里，其消化产物又逐渐从微胶粒中释出，然后透过微绒毛的脂蛋白膜进入黏膜细胞，胆盐则被留在肠腔内。

脂类物质的吸收分淋巴和血液两条途径。其中，短、中链甘油三酯水解产生的脂肪酸和甘油一脂，经吸收后入血直接进入门静脉；长链脂肪酸及甘油一脂被吸收后进入细胞间液，再扩散入淋巴，再由淋巴循环进入静脉血。

水、无机盐和维生素等的吸收

水的吸收方式主要是被动的，各种溶质，特别是 ~~电解质~~ 的主动吸收所产生的渗透压梯度是水分子吸收的主要动力。无机盐的吸收多为主动，特别是钠、铁、钙等的吸收主要是通过主动转运完成的。小肠吸收的负离子主要是 ~~柠檬酸根~~ 和 ~~葡萄糖原~~，它们的吸收是通过钠泵产生的电位差而向细胞内移动来完成的；维生素的吸收多以简单的扩散方式进行。

第三节 摇体育运动对消化机能的影响

经常从事体育锻炼，对消化机能有良好的影响，可以使胃肠蠕动增强，消化液的分泌增加，有利于食物的消化吸收，能使人食欲增强，对健康有利。

然而，如果体育运动与进餐的时间安排不当，饭后立即进行剧烈的运动，或是剧烈运动后立即进餐，都对消化系统有不良的影响。这是因为剧烈运动时，交感神经高度兴奋，引起腹腔内脏器官的血管收缩，肌肉中的血管舒张，血液进行重新分配，大量血液流向肌肉，保证了剧烈运动时肌肉工作的需要，消化器官的血液减少，消化腺的分泌减少同时副交感神经的活动受到抑制，兴奋性降低，胃肠蠕动也受到抑制，此时进食对消化不利。所以运动后应休息 15 分钟以上再进餐，大运动量后要休息 30 分钟后再进餐。进餐后应间隔 1 小时后再运动。因为进餐后的一定时间内，胃内食物充盈，在胃内食物充盈时运动，对胃本身也带来不良影响；另外，还会影响横膈膜的活动，影响呼吸运动，对运动不利；此外，在进餐后的消化过程中，体内循环血量的 80% 汇集到消化器官中。而在运动时，循环血量主要汇集于运动器官，消化器官中仅占 20%。所以，进餐后不久进行运动，必然会造成运动系统和消化系统的血液供应矛盾，这不仅妨碍食物的消化吸收，也影响运动能力。

在饭后进行散步或作一些轻缓的活动，可以促进消化器官的血液循环，增进消化腺的分泌和消化管的运动。在进行活动时，呼吸加深，膈肌和腹肌的活动量增大，对消化器官起到一定的按摩作用，能提高消化与吸收的功能。

第四节 主要能源物质在体内的分解代谢

一、生物催化剂——酶

酶的概念

催化剂是指能够加速化学反应的速度而其自身在反应前后不发生改变的物质。酶是由细胞产生的一类具有催化活性的蛋白质，广泛分布在人体的各组织和细胞中，约有几千种，体内物质代谢所进行的一切生物化学反应都是在酶的催化下完成的。同样，受长期运动的影响，人体运动能力的提高也与酶对运动的适应有密切的关系。

酶的主要成分是蛋白质。其中，有些酶分子完全由蛋白质组成，分子中不含有其他成分，这类酶称为单纯蛋白酶，体内的大部分水解酶类如唾液淀粉酶、胰蛋白酶和胰脂酶等属于此类酶；有些酶分子由蛋白质和非蛋白质成分共同组成，称为结合蛋白酶，体内多数的氧化还原酶属于此类酶。其中，蛋白质成分称为酶蛋白，它决定着酶发挥催化作用的特异性；非蛋白质成分称为辅基或者辅酶，它们通常是金属离子或某种有机化合物，决定着催化反应的性质。

有些酶刚从细胞分泌出来时没有催化活性，必须经过某些物质的激活后才能转变为有催化活性的酶，这些无活性的酶的前体物质称为酶原。体内常见的酶原有胃蛋白酶原、胰蛋白酶原、凝血酶原和纤维蛋白溶解酶原等。体内酶原的存在和激活作用对于保护组织器官和应急反应具有重要的生理学意义。如消化系统中存在无活性的胃蛋白酶原和胰蛋白酶原，它们对组织蛋白没有水解作用；血液中的凝血酶原，在正常情况下不引起凝血反应，当创伤流血时，凝血酶原迅速转化为凝血酶，以促进血液的凝固，

防止出血过多。

还有一些酶，它们可以催化相同的化学反应，但是酶蛋白的分子结构不同，它们可以存在于体内不同的组织中，也可以存在于同一组织中不同的亚细胞结构中，此类酶称为同工酶或者同功酶。目前已经发现的同工酶有数百种，而与运动训练有密切关系，也是研究最多的同工酶主要有乳酸脱氢酶（**LDH**）、肌酸激酶（**CK**）、己糖激酶（**HK**）和肌球蛋白（**MB**）酶。

酶的作用

与一般催化剂一样，酶的主要生理作用是加快生物化学反应的速度，其本身在反应前后不发生质与量的改变。而与一般催化剂不一样，酶的作用还有许多自身的特点：（1）酶的主要成分是蛋白质，其分子结构和催化作用极容易受环境理化因素变化的影响，如对热和 **pH** 的变化比较敏感，表现出一定的不稳定性。所以酶在体内发挥生物催化作用一般都要求在比较温和的条件下（如常温、常压和接近中性的酸碱度）进行。（2）酶的催化效率高，一般是非生物催化剂的 **10⁶~10¹²** 万倍。（3）酶的作用具有高度的特异性，即酶对所作用的物质（通常称为底物）有严格的选择性。通常一种酶只能作用于某一类或某一种特定的物质，生成相应的产物。酶催化作用的特异性是一种重要的生物学现象，具有重要的生物学意义，它可以保证体内各种物质代谢与能量转移过程能够有条不紊地按照一定顺序进行，从而维持生命活动的正常进行。（4）酶的生物催化活性是受到调节和控制的，调控主要是通过对酶的催化活性和酶量的调节实现的。酶催化活性的可调控性对于酶适应运动训练而进行快速和缓慢的变化有着极其重要的生理学意义。

酶催化作用的原理比较复杂。通常情况下，在一个化学反应体系中，并不是所有的反应物分子都能参加反应。只有那些所含能量达到或者超过某一限度的分子才能参加反应，这些分子称为

活化分子。活化分子比一般非活化分子所多含的能量称为活化能。活化分子含有的能够参加化学反应的最低限度的能量称为该化学反应的能阈或能障，只有那些所含能量大于能障的分子才能参加化学反应。增加活化分子的途径有两种，一是加热或光照，使部分分子获得能量而活化；另外一种就是降低能阈，间接增加活化分子的数量。催化剂的作用就是能够降低能阈或者活化能，使反应能够在较低的能量水平上进行，从而加快反应速度（图苑-源）。

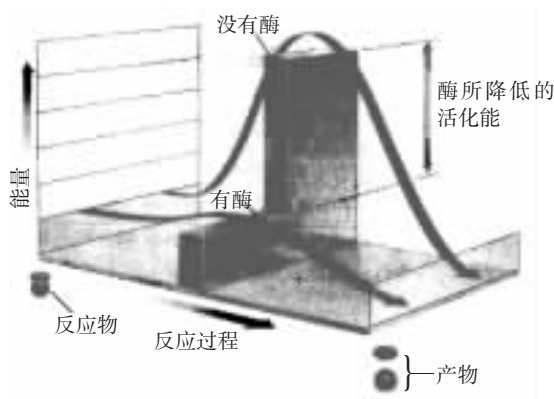


图 苑-源 酶的催化作用原理

运动与酶的适应

新陈代谢是生命活动的基本特征，人体受运动训练的影响，其身体机能或运动能力的提高首先就表现在代谢的改变和适应上，而代谢的改变和适应又取决于酶对运动训练的反应和适应。大量研究表明，运动对机体是一种特殊的刺激，它可通过神经激素的作用，激活细胞内的酶分子，使酶的活性增强，从而促进物质代谢适应急性运动的需要。此外，长期的运动训练还可以刺激或诱导酶合成量的增加，使体内有关的酶系产生与运动训练性质相适应的变化，从而提高人体的专项运动能力。有氧和无氧性训

表苑-员 有氧和无氧性训练对机体主要代谢酶活性的影响

代谢酶	无训练者	无氧训练者	有氧训练者
有氧代谢酶类			
琥珀酸脱氢酶	低	低	高
苹果酸脱氢酶	低	低	高
脂酰肉硷转移酶	低	低	高
无氧代谢酶类			
肌酸激酶	低	高	低
肌激酶	低	高	低
磷酸化酶	低	低	高
磷酸果糖激酶	低	低	高
乳酸脱氢酶	低	高	低

糖原和血糖

(四) 糖原。糖原是由许多葡萄糖残基组成的带分枝的一类大分子多糖，是糖在体内存在的形式，其中以肝脏和肌肉中的含量最多。在肝中的叫肝糖原，肝糖原含量平均占肝湿重的 5% 左右，故肝糖原平均为 50g。骨骼肌中的糖原叫肌糖原，其含量（安静状态下）约占肌肉湿重的 1% ~ 2%，故肌糖原约为 200g。肌糖原和肝糖原的含量，随人体的不同活动状态而有大幅度的波动。如剧烈运动至衰竭时，活动肌肉中的肌糖原可减少 50% ~ 80%，肝糖原也大幅度降低。

(圆 血糖。血糖是指血液中的葡萄糖，血糖的基本来源是食物糖（主要是淀粉）。饥饿状态下，肝脏释放葡萄糖是血糖的又一来源。血糖的去路主要是进入组织细胞合成糖原、氧化分解供能及转换成脂肪和氨基酸。正常情况下，血糖的来源和去路保持平衡，使血糖浓度维持在正常生理范围内。血糖的含量随进食、活动等情况而有波动，健康人在空腹时的血糖水平较为稳定，其值在 愿园~ 员圆园早 员圆园早 之间。

血糖作为葡萄糖转运到外周组织的媒介物，其主要生理功能有：血糖是中枢神经系统的主要供能物质，用以维持中枢神经的正常机能；血糖是红细胞的唯一能源；血糖还是运动的主要燃料。

圆糖的生理功能

糖是热能的最重要和经济的来源，人体所需能量中有 远园豫~ 苑园豫来自糖。糖作为供能物质有容易消化、吸收，分解产热快，耗氧少，副产物少等许多优点。糖还是构成机体的重要物质，参与许多生命活动。如：糖蛋白是细胞膜的组成成分之一，神经组织中含有糖脂，结缔组织中含有粘蛋白，核糖和脱氧核糖是核糖核酸和脱氧核糖核酸的成分。

猿糖的分解代谢

人体各组织细胞都能有效地进行糖的分解代谢，糖在分解代谢中将逐步释放蕴藏于其中的能量，供 粤孕的再合成。糖的分解代谢有无氧代谢和有氧代谢两种。

(员 糖的无氧分解 (糖酵解)

①丙酮酸的生成。糖的无氧分解的全过程是在细胞浆中进行的，如果从葡萄糖开始，其第一步是葡萄糖磷酸化，转变为 远原磷酸葡萄糖。每 员早是葡萄糖磷酸化需要消耗 员早是 如果从糖原分解出来的葡萄糖单位开始，则经 员原磷酸葡萄糖而转变为 远原磷酸葡萄糖时，这个过程不需要消耗 粤孕 当由 远原磷酸葡

葡萄糖分解为 1 分子磷酸丙糖时，又要消耗 1 分子 NAD^+ ，然后，磷酸丙糖再经一系列的生化反应而转变为丙酮酸。在 1 分子磷酸丙糖转变为丙酮酸的过程中，可以使 1 分子 NAD^+ 再合成为 1 分子 NADH ，即 1 分子葡萄糖可以使 1 分子 NAD^+ 再合成 1 分子 NADH 。扣除前面所消耗的 2 分子 NAD^+ ，故葡萄糖无氧分解可净生成 1 分子 NADH ；若以糖原分解出来的葡萄糖单位进行无氧分解时，则可净生成 2 分子 NADH 。

② 乳酸的生成。丙酮酸由于氧供应不足而还原生成乳酸，人在进行持续时间较短剧烈运动时，由于氧供应不足，依赖此过程使 NADH 再合成。剧烈运动中，肌肉产生乳酸的消除途径有：在骨骼肌、心肌等组织氧化成 NAD^+ 和 H_2O ；在肝和骨骼肌内经糖异生成葡萄糖和糖原；在肝内合成脂肪、丙氨酸等。

糖的无氧分解反应过程简式如下：

糖原 $\rightarrow$ 葡萄糖 $\rightarrow$ 丙酮酸 $\rightarrow$ 乳酸 + NADH

（四）糖的有氧氧化

葡萄糖或糖原在有氧条件下，氧化成 NAD^+ 和 H_2O 的过程称之为有氧氧化。这是人体获取大量能量的最有效途径，是糖在体内的主要氧化方式。糖的有氧氧化是指在氧的参与下，丙酮酸脱羧脱氢成为乙酰辅酶 A 经三羧酸循环逐步脱氢和脱羧，脱下的 H^+ 经呼吸链的传递，与 O_2 氧化成水。在这个过程中，可使大量的 NADH 再合成为 NAD^+ 。如果从葡萄糖开始算起，糖的有氧氧化可分为三个阶段。

第一阶段，由糖原或葡萄糖分解为丙酮酸，它是不需要氧的代谢过程，是糖的有氧氧化和无氧分解的共同途径。

第二阶段，在氧供应充足时，丙酮酸进入线粒体后氧化脱羧，并与辅酶 A 结合生成乙酰辅酶 A。

第三阶段，是乙酰辅酶 A 进入三羧酸循环彻底氧化生成 NAD^+ 和 H_2O ，并释放出大量能量。

糖有氧氧化的基本生理功能是氧化放能，员自葡萄糖酵解可净得 2 分子 ATP，糖原酵解可净得 1 分子 ATP；而员自葡萄糖经三羧酸循环彻底氧化生成 12 分子 CO₂ 和 38 分子 H₂O 时，可净得 36 分子 ATP。若从糖原的葡萄糖单位开始，可净得 37 分子 ATP。其反应过程简式如下：

糖原 → 葡萄糖 → 丙酮酸 → 乙酰辅酶 A → 三羧酸循环 → CO₂ 和 H₂O

体育运动与糖代谢

糖是运动时唯一能无氧代谢合成 ATP 的细胞燃料。糖的氧化具有：分解迅速，耗氧少，副产物少等优点，是大强度运动的主要能量来源，在运动供能中占据重要的地位。

（员）肌糖原与运动能力

人体骨骼肌中肌糖原的储量约为 500~1000 毫摩尔/湿肌，肌糖原储量与肌肉部位、肌纤维类型、运动训练水平及饮食有关。

骨骼肌中虽有较充足的糖原储备，但在静息状态下，骨骼肌基本燃料却是脂肪酸。运动时，肌糖原分解迅速激活。运动中肌糖原利用的速率和数量由多种因素决定，其中主要影响因素是运动强度、持续时间、运动类型、训练水平、饮食和环境因素等。

在长时间大强度运动中，运动前肌糖原储量决定达到运动力竭的时间，直接影响耐力训练和比赛的运动能力。在长时间低强度运动中，如 50% 最大摄氧量强度，降低肌糖原储量并不一定伴随运动能力下降。在短时间或间歇性极量运动时，一般不会引起明显的糖原耗竭或发生低血糖症。但是肌糖原储量过低时，会抑制乳酸的生成和降低无氧代谢能力。因此，对无氧代谢供能为主的运动项目，比赛前 3~5 天用高糖饮食，可使肌糖原储量不低到限制运动能力的地步。超长距离的运动项目可在赛前七日至赛前四天训练量适当加大，摄糖量适当减少，使之出现“糖饥饿”，赛前三天至赛前一天训练量逐渐减少，食用高糖膳食，这

样可以使肌糖原储量高于正常。

(圆) 血糖与运动能力

血糖是糖在体内的运输中心,健康人的血糖相当恒定,血糖的恒定是通过血糖的来源和去路两方面的平衡来保证的,血糖除来自食物外,糖和一些非糖物质(如甘油、乳酸、氨基酸)在肝脏中转变为葡萄糖或肝糖原,也是血糖的重要来源。非糖物质在肝脏中转变成葡萄糖或肝糖原的过程称之为糖的异生。半个多世纪以来的科学研究反复证明,在 远圆豫~愿圆豫最大摄氧量运动时,糖储备不足将导致运动机体疲劳。通过运动前、中、后有规律的补糖方案是可以改变这一点的。需要补糖的运动项目有 员澡以上的持续性耐力运动,以及长时间(源圆~源圆皂)的高强度间歇性运动训练。

运动前或赛前补糖旨在优化肌肉和肝脏糖原储备,维持运动时血糖稳定,保障 员澡内快速运动能力和长时间运动末期的冲刺力,同时避免引起运动中胃肠不适和血浆胰岛素浓度上升,其上升有时会引起易感人群反射性低血糖。有学者认为,补糖的时间因项目而异,短时间的项目(持续时间在 源圆皂以下)在赛前半小时内补糖,长时间运动项目则在赛前 圆澡补糖,目的是为了避开胰岛素效应时间。也有学者认为,运动前 圆澡内补糖虽然会引起一过性血浆胰岛素浓度上升,但是并不降低运动能力,实际上还能提高大于 圆澡的 苑圆豫~愿圆豫最大摄氧量强度运动的能力。因此,运动前补糖的利与弊应根据具体情况和运动员的个体差异加以判断。

运动中糖的最大吸收量为每小时 缘圆皂 所以补糖量以每公斤体重 员早为宜。实验证明,一次服糖量每公斤体重超过 圆早时,会引起血液循环量和血液黏稠度增加,血钾下降,胃部不适感觉,并伴有头晕和恶心等症状。

(猿) 乳酸与运动能力

乳酸在供能体系中占有重要地位。它是糖酵解供能系统的终产物，又是有氧代谢供能系统的重要氧化基质，还可在肝内经糖异生途径转变为葡萄糖。与此同时，乳酸过多对内环境酸碱平衡的影响又成为负面效应，导致疲劳发生。

运动时，骨骼肌是乳酸生成的重要场所，乳酸生成量与收缩肌的肌纤维类型、运动强度及持续时间有关（表 苑- 圆。短时间、极量运动时乳酸生成增多，是由于运动对收缩肌的能量需求超过有氧代谢的最大供能能力，必须由糖酵解系统提供能量的结果。长时间、亚极量运动时，乳酸的生成主要是在运动开始阶段和达到稳态氧耗率之前，是糖酵解速率超过有氧代谢速率的结果。运动时血乳酸浓度的变化是骨骼肌等到组织中乳酸生成进入血液的速率与血液中乳酸消失速率之间平衡的表现。运动后乳酸的消除受休息方式影响，低强度运动的活动性休息比静止性休息乳酸消除速率快，训练水平高的运动员血乳酸消除能力强。

表 苑- 圆 我国男子 圆园园米自由泳优秀选手血乳酸水平

时摇间	游摇速	血乳酸（毫摩尔·升）
员缘- 猿年	圆- 猿次	员- 圆源（晕越冠）
员愿- 源年	员- 缘次	员- 圆远（晕越缘）
员愿- 远年	员- 缘次	员- 圆圆（晕越远）

摇摇注：以翁庆章 员愿- 远年资料整理

三、脂肪的分解代谢

脂肪的概述

脂类包括单纯脂、复合脂和类脂，单纯脂是指脂肪酸和醇类所形成的脂，通常说的脂肪是甘油三酯，是由 猿个脂肪酸和 员个甘油分子缩合而成。脂肪是一种含能量最多的物质，在体内氧化所释放的能量，约为同量糖或蛋白质的 圆倍。由于脂肪是疏水性

的,贮存时不伴有水,所以脂肪又是体内最大的贮能库。此外,分布在皮下组织和内脏周围的脂肪还起着热垫和保护垫的作用,以防止体温散失和对机械撞击起缓冲作用,以防止内脏、肌肉的损伤。除上述功能外,膳食中获得的脂溶性维生素还必须依赖脂肪而得以吸收。

脂肪的分解代谢

贮存在脂肪细胞内的脂肪被脂肪酶逐步水解为游离脂肪酸与甘油,并释放入血以供其他组织氧化利用的过程称之为脂肪的动员。脂肪酸是人及哺乳动物的主要能源物质之一。在氧供给充足的条件下,脂肪酸可在体内经过 β 原氧化不断产生乙酰辅酶粤,乙酰辅酶粤进入三羧酸循环彻底氧化分解成悦韵和匀韵,并释放大能量,以供粤孕再合成粤孕。

反应过程简式如下:

脂肪 $\rightarrow$ 脂肪酸 $\xrightarrow{\beta\text{ 降化}}$ 乙酰辅酶粤 $\rightarrow$ 三羧酸循环 $\rightarrow$ 悦韵 $\rightarrow$ 匀韵 $\rightarrow$ 粤孕

体育运动对脂代谢的影响

在低于远豫~远豫最大摄氧量强度的长时间运动中,脂肪成为运动肌的重要供能物质。研究表明,耐力训练可导致脂肪代谢产生适应性变化,即既可以提高脂肪供能能力,也有利于降低血脂,改变血脂组成和减少体脂,还可以减肥或控制体重。

(员 对血脂的影响。血浆所含脂类统称血脂,它主要包括:甘油三酯、磷脂、胆固醇及游离脂肪酸等。血脂的来源有二:一是外源性,即从食物摄取的脂类经消化吸收进入血液的脂;二是内源性,由肝、脂肪组织细胞及其他组织释放入血的脂。血浆中的脂质,除游离脂肪酸与白蛋白结合外,其余均与球蛋白结合成脂蛋白复合物进行运转。用超速离心法,可分为四种:高密度脂蛋白(匀韵)、低密度脂蛋白(匀韵)、极低密度脂蛋白

(~~胆固醇~~ 和乳糜微粒 (~~乳糜~~)。载脂蛋白 (简称 ~~载脂~~) 系指脂蛋白分子中的蛋白质部分,它具有十分重要的代谢功能,与动脉粥样硬化的发病密切相关,目前已发现有几十种之多,常测的有载脂蛋白 ~~载~~和载脂蛋白 ~~载~~等。

高密度脂蛋白胆固醇被认为是一种抗动脉粥样硬化的脂蛋白。多数肥胖患者血浆甘油三酯和极低密度脂蛋白含量常显著地高于体重正常者,低密度脂蛋白和胆固醇含量在部分患者中也有增高,而高密度蛋白胆固醇则显著降低,通过限制热量摄入或增加消耗以降低体重时,常见极低密度脂蛋白和甘油三酯含量下降而高密度脂蛋白则增高。

体育运动和体力活动可使血浆胆固醇和甘油三酯以及低密度脂蛋白和极低密度脂蛋白含量降低,使高密度脂蛋白含量增高,使其血脂和脂蛋白向有利于健康和防止冠心病方向发展。血胆固醇和甘油三酯两项指标增高可检出所有高血脂症和 ~~高脂~~的高脂蛋白血症。这是两项非常重要的指标。载脂蛋白 ~~载~~参与胆固醇在细胞中转移至高密度脂蛋白的过程,载脂蛋白 ~~载~~参与低密度脂蛋白被肝脏吸收的过程。

(~~圆~~ 对体脂的影响。运动员体脂的多少与运动项目有关,长跑和体操等项目的运动员的体脂最少。但必须指出,适宜的体脂是必需的,过多的体脂则影响健康及运动能力。

运动能增加肌肉中的能量消耗,肾上腺素分泌增加,使脂肪分解为自由脂肪酸并进入血液,大量的自由脂肪酸被组织细胞摄取并氧化供能;运动还能抑制脂肪酸的合成,脂肪的合成也相应地减少。所以,运动能使脂肪分解加强,合成代谢减弱,以达到减少体脂,控制肥胖的目的。

(~~猿~~ 去脂减肥。人体内的脂肪组织过多称为肥胖。评价肥胖时除用体重指标外 (虽然简便,但可能有误),最好用能反映体内脂肪量的指标,如体成分及皮下脂肪厚度。

根据有无明显的内分泌代谢疾病，一般将肥胖症分为单纯肥胖（体质性肥胖和获得性肥胖）、继发性肥胖和药物引起的肥胖三种。单纯性肥胖是最常见的，这种肥胖全身脂肪分布比较均匀，没有内分泌和代谢疾病，其家族往往有肥胖史。主要原因是遗传因素和营养过度。体质性肥胖又称幼年起病型肥胖，这种肥胖从婴儿期开始发生，以后一直持续，是由于遗传因素加上营养过度引起，是脂肪细胞增生肥大和数量增加。这种肥胖用饮食控制等方法难以见效。获得性肥胖是在成年以后才发生的肥胖，是由于营养过度，热量过剩引起。主要是细胞体积的增大，没有数量上的变化。用控制饮食的方法较易见效。

肥胖与人体的健康有密切的关系，肥胖是导致心血管系统疾病的直接原因之一。它可以引起血胆固醇、甘油三酯浓度上升，高密度脂蛋白浓度下降，从而引起高血压和非胰岛素依赖型糖尿病。肥胖者由于胸腔扩张阻力加大而出现某些呼吸疾病，患某些癌症的可能性也加大，还会造成各种心理障碍，不仅易患某些疾病，且患病后死亡率也较高，尤其是非胰岛素依赖型糖尿病患者，还会造成人体免疫功能下降，使人易患各种疾病。

常用的减肥方法有三种：

①运动减肥。运动减肥是减肥中一种最有效的方法，运动减肥的原理是增加能量消耗造成机体热量负平衡。运动作用于神经内分泌系统，改善对脂肪代谢的调节。如运动时肾上腺素分泌增加，释放脂解激酶，使甘油三酯的水解增强；运动还可使胰岛素分泌减少，抑制脂肪的合成；运动还可使血液中游离脂肪酸和葡萄糖利用率增高，使脂肪细胞释放大量的游离脂肪酸，细胞缩小，使多余的葡萄糖被消耗，不转为脂肪，减少异生脂肪的聚积。采用运动减肥时要注意以中等负荷强度，即最大耗氧量约50%左右的运动强度最好。以中等强度运动时，开始阶段不是立即动用脂肪，因为从脂肪库释放脂肪并运到肌肉，需要至少

因此,消耗体内脂肪的运动时间至少 1h 以上,效果更好。另外还需经常运动,经常运动可使体内神经内分泌系统、酶的活性等生理、生化过程发生适应性的变化,有利于脂肪的消耗。

②饮食减肥。饮食减肥法的基本原理:一是减少摄入热量,造成机体热能负平衡,迫使身体消耗体内的脂肪。减少摄入热量一般以原热量摄入水平为基础,根据肥胖的程度,逐渐减掉原摄入热量的 10%~20%,依次向低热量饮食过渡。二是调整膳食结构,采用高蛋白质,低碳水化合物和适量脂肪的膳食。一般把蛋白质、脂肪、糖类由原来的 50%~55%、30%~35%、15%~20%调整为 60%~65%、20%~25%、15%~20%为宜。三是改变饮食习惯。总之,饮食减肥法是所有减肥的基础,饮食减肥需要较长的时间,并且要持之以恒,在达到理想体重后需继续控制 1 个月,否则调整好的饮食尚未养成习惯,很容易恢复原状。

③药物减肥。药物减肥不是减肥的主要手段,只宜作为饮食减肥等其他方法的辅助手段。其他还有行为减肥法、手术减肥法等。理论和实践都证明,最有效的、不以损害身体健康为代价的减肥方法是节食加运动。

四、蛋白质代谢

蛋白质的概述

蛋白质是结构复杂的高分子化合物,它除了含有糖与脂肪相同的碳、氢、氧元素以外,还有氮元素参与组成,有的还含有硫、磷等元素。它们先构成氨基酸,许多氨基酸再构成蛋白质,所以氨基酸是构成蛋白质的基本单位。食物蛋白质中的氨基酸有二十多种,分为必需氨基酸和非必需氨基酸两大类。蛋白质是构成细胞的主要成分,儿童少年的生长发育是通过体内蛋白质的生

物合成来实现的，组织的新陈代谢和损伤的修补都需要蛋白质；对代谢过程具有催化和调节作用的酶和激素，承担氧运输的血红蛋白等具有特殊功用的物质都由蛋白质构成，蛋白质是体内缓冲体系的组成部分，有维持酸碱平衡的作用，某些氨基酸是制造能量物质和神经介质的重要成分，血浆蛋白维持胶体渗透压，球蛋白形成抗体；蛋白质虽然不是人体主要的能源物质，但人体每天所需要的热能有 员缘豫 ~ 员源豫 左右来自于蛋白质，可以说没有蛋白质就没有生命活动。

圆 氨基酸的一般代谢

食物中的蛋白质经消化吸收成为氨基酸后，吸收进入体内，与体内组织蛋白质分解产生的氨基酸混合在一起，分布于全身组织，并进一步参与代谢，两者总称为氨基酸的“代谢库”。

体内氨基酸的主要功用是合成蛋白质和多肽，某些氨基酸还可以通过特殊的代谢途径转变成具有重要生理功用的含氮物质，如嘌呤、嘧啶、肾上腺素等。人体内各种氨基酸的分解代谢首先是脱氨基，氨基酸脱氨基后成为酮酸和氨基（图 苑- 缘）。

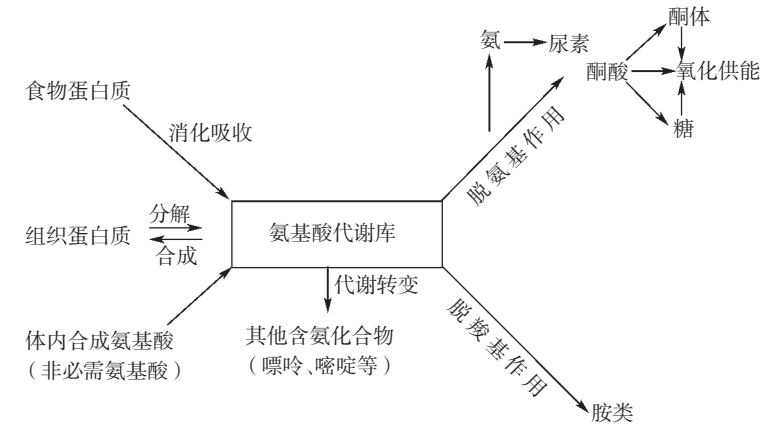


图 苑- 缘 氨基酸代谢概况

氨基酸脱氨基后生成的酮酸，可进入三羧酸循环进一步氧化为 CO_2 和 H_2O ，或经转氨基作用而重新合成新的氨基酸，或转变为糖类或脂类；氨基酸脱下的氨大部分在肝内合成尿素，再经肾脏排出体外。尿素是氨基酸的含氮终产物，正常人体内 $100\text{mg} \sim 150\text{mg}$ 的氨以尿素形式排出，氨是一种具有毒性的代谢产物，氨的解毒主要是通过肝内合成尿素来实现的，故尿素的生成是肝脏的一项解毒功能。

关于蛋白质的补充问题

由于蛋白质对人体具有特殊的作用，故在运动训练中，运动员的蛋白质补充非常重要。一般认为，成人蛋白质最低生理需要量约为 $100\text{g} \sim 150\text{g}$ 或 $100\text{mg} \sim 150\text{mg}$ 公斤体重。生长发育期的青少年由于组织增长及再建的需要，蛋白质的需要量为 $150\text{mg} \sim 200\text{mg}$ 公斤体重。运动员的蛋白质供给量比普通人高，我国运动员约为 $150\text{mg} \sim 200\text{mg}$ 公斤体重，优秀举重运动员的蛋白质供给量为 $200\text{mg} \sim 250\text{mg}$ 公斤体重；耐力运动中，即使糖类足以供应机体运动所需能量，膳食中蛋白质的补充量也应达到 $150\text{mg} \sim 200\text{mg}$ 公斤体重，而且应该在整个耐力训练阶段中持续补充，以促进肌肉蛋白质的合成，预防运动性贫血的发生。

五、糖、脂肪、蛋白质代谢的相互关系

糖、脂肪和蛋白质其氧化分解途径各异，但相互间的联系十分密切。三大物质在代谢上的相互关系包括它们在分解代谢方面以及在相互转换方面的联系。

分解代谢中的关系

糖、脂肪和蛋白质三大物质在分解代谢方面的关系特点表现在：末端氧化的共同途径是三羧酸循环。糖和脂肪酸氧化分解均可生成乙酰辅酶 A，加入三羧酸循环进一步氧化分解，生成二氧化碳和水，并同时合成大量 ATP；氨基酸经脱氨基作用生成相应

的 α 酮酸从不同部位加入三羧酸循环，如图 7-2 所示。

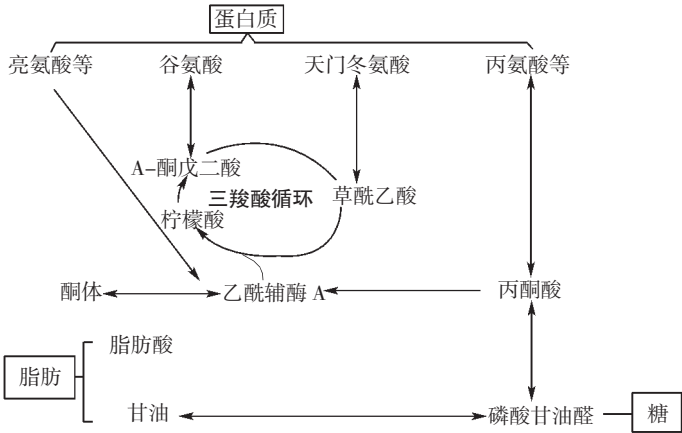


图 7-2 糖、脂肪、蛋白质的相互关系

糖、脂肪、蛋白质之间的相互转换

糖、脂肪、蛋白质之间的相互转换的难易程度有很大区别。在体内糖极易转换为脂，如摄入过量的甘油三酯，脂肪分子中仅甘油部分可经糖异生作用转换为糖。

糖代谢过程中的酮酸如丙酮酸、 α 酮戊二酸及草酰乙酸均可提供碳链经氨基化合成非必需氨基酸。某些氨基酸经脱氨基作用后生成相应的 α 酮酸，再进一步转变为糖。

氨基酸经脱氨基作用生成 α 酮酸，经乙酰辅酶 A 合成脂肪酸。机体几乎不利用脂肪合成蛋白质。

第五节 代谢尾产物的排泄

一、排泄的概述

机体将物质代谢的尾产物（主要是尿素）和过剩的物质

(主要是水和一些盐类) 以及机体不需要的物质 (包括进入体内的异物和药物的代谢产物), 经由血液循环运送到排泄器官并排出体外的生理过程称为排泄。

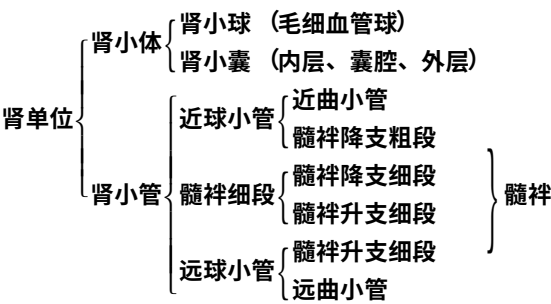
排泄的途径有: (1) 由呼吸器官排出。主要是 CO_2 和少量随气体排出的水分。(2) 由消化道排出。排出物混入粪便中排出, 如肝脏代谢产物的胆色素以及经大肠黏膜排出的一些无机盐类, 如钙、镁、铁等。(3) 由皮肤排出。以汗腺分泌汗的形式排出, 如汗中含有的尿素等。(4) 由肾脏排出。以尿的形式排泄, 肾脏的泌尿是人体内一条十分重要的排泄途径, 因为尿中不仅含有种类最多的排泄物, 且量也很大。肾脏的泌尿活动, 一方面是排除机体的大部分代谢尾产物及进入体内的异物; 另一方面在维持内环境相对稳定特别是对机体水平衡和血液酸碱平衡中起着重要的作用。

二、肾脏的排泄

1. 肾脏的结构与功能

(1) 肾脏的结构特点。肾单位是肾脏的基本结构和功能单位, 人的两侧肾脏约有 100~200 万个肾单位。每个肾单位的组成如下:

表 1 肾单位的分布



由多条远曲小管的末端汇集成集合管，许多条集合管又汇入乳头管，由乳头管而集成肾盏。在肾单位形成的尿液经集合管→肾盏→肾盂→输尿管而进入膀胱。

(圆) 肾脏的血液循环。肾脏的血液直接来自腹主动脉的分支——肾动脉。肾血流量大，安静时每分钟的血流量相当于心输出量 1/4 ~ 1/3 左右，这对清除代谢的尾产物有积极的作用。

肾脏的血液循环由肾动脉开始，经分支形成许多小动脉，称入球小动脉，每支入球小动脉进入肾小体后，分支构成肾小球毛细血管网，然后又集成出球小动脉，离开肾小体的出球小动脉再次分成毛细血管网缠绕于肾小管和集合管周围。这样，血液要两次通过毛细血管才汇集到肾静脉。由于肾小球毛细血管网的入球动脉口径比出球动脉口径大一倍，故入球小动脉中的血流阻力小于出球小动脉，肾小球内压因此较高，这有利于肾小球的滤过作用，而肾小管周围毛细血管网中血压较低，这有利于肾小管的重吸收作用。

(猿) 肾脏的功能。肾脏的功能有二：一是泌尿功能。肾脏通过泌尿活动，排出大量代谢尾产物。通过排出浓缩尿或稀释尿而维持体液容量和渗透压的稳定。通过排除过多的酸或碱来维持血液正常的酸碱度，以调节体液的酸碱平衡。二是分泌生物活性物质。肾脏分泌的生物性物质主要有促红细胞生成素、肾素、羟化的维生素 D₃ 和前列腺素。

圆肾脏的泌尿过程

尿的生成是在肾单位和集合管中进行的，它包括肾小球的滤过、肾小管与集合管的重吸收和肾小管和集合管的分泌与排泄等三个过程。

(员) 肾小球的滤过。循环血液流过肾小球毛细血管网时，除红细胞和大分子量的蛋白质外，血浆中的水和小分子溶质，包括少量较小分子量的血浆蛋白，都可滤入囊腔内而形成滤液

(又称原尿)，这一过程称为肾小球的滤过。

肾小球的滤过受三方面因素的影响：①滤过膜的通透性及其滤过面积。肾小囊的内层，滤过膜上有大小不同孔道，小分子物质能很容易地通过各种大小孔道，而分子量较大的物质则只能通过较大的孔道，因而它们在滤液中的浓度较低。近年来研究发现，滤过膜的通透性除与其物质的大小有关外，还取决于物质所带的电荷。有实验证明，带正电荷的分子较易通过，而带负电荷的分子则较难通过。

②有效滤过压。肾小球滤过的动力是肾小球有效滤过压。因滤过膜对蛋白质几乎不通过，故肾小囊内胶体渗透压可忽略不计，即：有效滤过压 = 肾小球毛细血管压 - (血浆胶体渗透压 + 肾小囊内压) (图 苑-苑)。肾小球毛细血管压是促使血浆内物质滤入肾小囊内的动力；血浆胶体渗透压是促使水渗入毛细血管或者说是一种吸水力量；肾小囊内压是对抗血浆液进入肾小囊内的力量。

③肾小球血浆流量。肾小球血浆流量是指单位时间内流经肾小球毛细血管的血浆量。在通常情况下，由于肾血流量的自身调节，使肾小球血浆流量保持相对稳定，肾小球滤过率也相对稳定。但在紧急情况下，如剧烈运动或严重缺氧时，通过交感神经及肾上腺素的作用，以减少肾血流量和肾小球的血浆流量的减少，肾小球滤过率也因之明显减少。



图 苑-苑 有效滤过压示意图

（圆 肾小管和集合管的重吸收作用。经肾小球滤过的滤液每 圆原 秒可达 1500 毫升，而人体 圆原 秒排出的终尿量仅为 150 毫升左右，表明 99% 的水和溶质在经过肾小管时被重吸收。比较血浆和终尿中各种溶质的浓度时，发现终尿中葡萄糖含量极微，可以认为是零。故滤液中的葡萄糖全部被重吸收回血，滤液中的水和电解质也大部分重吸收，尿素等代谢尾产物仅小部分重吸收或完全不被重吸收（表 苑- 源）。

表 苑- 源 正常成人终尿中和血浆中各种物质浓度的比例

	血浆浓度 (早 8 时 10 时 4 时 8 时)	终尿浓度 (早 8 时 10 时 4 时 8 时) (微量)	终尿 与 血浆 浓度比率
水和蛋白质			1/1000
葡萄糖	100	(极微量)	1/1000
尿素	300	1000	3/1000
肌酐	5	100	20/1000
尿酸	10	100	10/1000
钠	140	140	1/1000
钾	40	100	2.5/1000
钙	10	10	1/1000
镁	10	10	1/1000
氯	100	100	1/1000
碳酸根	20	100	5/1000
磷酸根	10	100	10/1000

肾小管和集合管的不同部位的重吸收能力是不同的（图 苑- 愿，近球小管是重吸收的主要部位，100% ~ 90% 左右的小管液在近球小管被重吸收，髓袢和远球小管各为 10%，集合管约为 10% ~ 20% 左右。

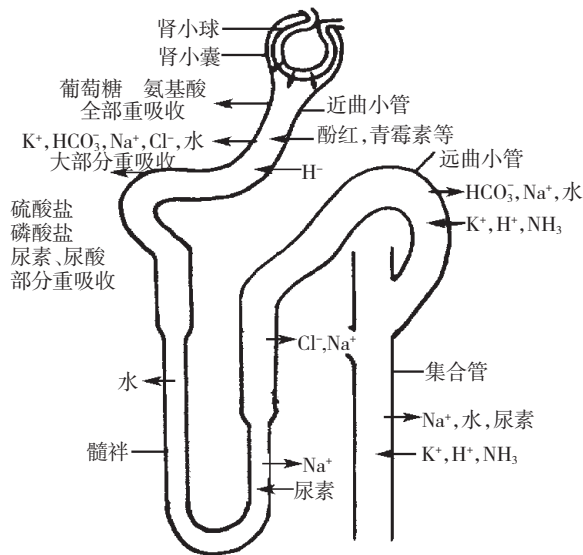


图 苑- 远曲小管和集合管的不同部位的重吸收和分泌示意图

③ 肾小管和集合管的分泌与排泄。肾小管和集合管的分泌是指这些管腔的上皮细胞通过新陈代谢，将所产生的物质分泌到小管液的过程。分泌和排泄都是通过肾小管和集合管的上皮细胞活动进行的，且分泌物和排泄物都进入小管液中，所以通常对两者不作严格区分。

总之，肾小球过滤生成的滤液，通过肾小管和集合管的重吸收和分泌与排泄处理后，就成了终尿，并排出体外。

三、肾脏在维持水和酸碱平衡中的作用

① 肾脏在维持机体水平衡中的作用

水是人体内的重要组成成分。正常人体内含水量约占体重的 60%。人体内水分大部分是从食物和饮料中摄取，小部分是体内物质氧化过程中产生的。水的排出主要是通过肾脏泌尿排出，

其次是通过皮肤、肺以及粪便排出。正常人体内水的含量相当恒定，摄水量和排水量保持平衡（表 苑- 缘。体力活动时，从两方面加快水的丢失，一是由于吸收加快而增加了肺丢失水分；二是皮肤大量出汗，故在大量出汗的情况下，要注意科学地补充饮料。

表 苑- 缘成人每日的进出水量

进摇摇水		出摇摇水	
来源	水量（毫 升）	去路	水量（毫 升）
食物 饮料 物质代谢	1500 1000 300	呼吸系统排出（水汽） 皮肤排出 胃肠道排出（粪） 肾脏排出（尿）	300 1500 100 1500
总计	2800	总计	2800

肾脏在维持酸碱平衡中的作用

正常人体体液的 pH 是 7.35- 7.45，这是维持组织细胞正常活动所需的环境，当 pH 偏离正常范围将影响细胞的正常功能，从而妨碍正常的生命活动。人体体液的 pH 相对稳定主要是通过血液缓冲系统、吸收和肾脏的活动来实现的。肾脏调节体内酸碱平衡是通过肾小管机能实现的。肾小管有分泌 H^+ 活动和 Na^+ - H^+ 交换作用，可使血浆和尿 pH 值在一定范围内变动，肾脏的这种排酸或保碱作用，对体内的体液酸碱平衡的调节起着重要的作用。 Na^+ - H^+ 交换过程可产生三种作用：（1）肾小球滤液中碳酸氢钠的重吸收。肾脏吸收碳酸氢盐可使血浆中的碱储备保持恒定。（2）尿的酸化。（3）形成铵盐随尿排出。肾小管细胞生成并分泌 NH_3 与 H^+ 形成铵盐排出体外，起排氢保钠的作用。排 H^+ 保 Na^+ 和排 NH_4^+ 保 Na^+ 是肾脏调节体内酸碱平衡的有效

措施。

四、剧烈运动后尿液成分的变化

运动时尿量和尿成分的改变

剧烈运动时，肾血流量减少，血液黏度降低，肾小球滤过率下降而导致尿量减少。在盛夏的高温环境中进行长时间运动时，因大量出汗，尿量的减少尤为突出。

剧烈运动时，尿中的尿素、尿酸、肌酐等排出量下降，尤其是尿素、尿酸下降更为明显，尿的比重也因此降低。此外，剧烈运动后，尿中肌酐和乳酸等酸性代谢产物的含量增多。

运动性尿蛋白

尿中所含蛋白质叫尿蛋白，含有蛋白质的尿叫蛋白尿。在剧烈运动或进行长时间大强度运动后，运动员尿中出现蛋白质，运动后经过一定时间的休息，一般在数日内自行消失，这种由于运动引起的尿中蛋白质增加的现象称为运动性尿蛋白。一般认为，运动性尿蛋白的产生原因是由于运动负荷增加使肾小球滤过膜的通透性增加所致。此外，与运动项目和运动员比赛时的情绪、训练水平和身体素质也有一定的关系。

在大运动量训练中身体不适时，尿蛋白排泄量较多，身体适应训练后，尿蛋白又减少。如果尿蛋白不减少，或反而有增加，就应注意运动员的功能状态，要减小运动量和运动强度。另外，尿蛋白还与运动员的机能状况有关，当运动员在从事相同项目的相近运动量的运动时，尿蛋白量相对稳定，当身体机能下降（如疲劳等）时则尿蛋白排出量增加。所以，尿蛋白出现的数量可以作为评定运动量、训练水平和运动员机能状况的指标。

摇摇思考题

食物在体内是如何被消化的？

食物在体内是如何被吸收的？

体育运动对消化机能有何影响？

糖的生理功能有哪些？试比较糖的有氧氧化和无氧酵解过程的特点。

脂肪的生理功能有哪些？体育运动对脂肪代谢有何影响？

体育运动对糖代谢有何影响？

肾脏的功能有哪些？剧烈运动后尿液成分有何变化？

试批判“仰卧起坐是减肥的有效运动处方”的错误观点。

投掷运动员体成分的调查分析

体脂堆积过多被认为是肥胖症，对身体健康不利。运动员体脂堆积过多，在关节周围，还会成为运动的累赘，影响关节运动的效果。然而，日本的相扑选手和大级别的举重、摔跤、柔道选手（不因体重而影响运动成绩的级别选手）的肥胖程度是显而易见的，优秀投掷选手中的肥胖者也比比皆是。既然肥胖对身体和运动能力都有不良影响，以发挥力量为主的运动员项群中为什么还有那么多肥胖者呢？针对这一现象，本文对 10 名不同项目的 18 岁系统训练的、二级以上的、男女投掷选手的体成分、训练年限、专项成绩等指标进行调查，并以 10 名普通男女大学生及日本的“铃木氏体脂肥胖标准”为对照进行分析比较，结果发现：

一、投掷各组与普通大学生的比较

投掷各组体成分各指标均高于对照组，其中男女标枪组的皮褶厚度和体脂率与对照组差异不显著，体脂率亦在铃木氏的正常范围之内；男、女铅球组均为重度肥胖（男 100%，女 100%）；男铁饼组为中度肥胖（100%）；女铁饼组为轻度肥胖（100%）。

体脂率的计算没有身高、体重的因素。而投掷各组选手因受选材训练因素的影响，身高、体重均远高于对照组（平均 1.80m）。所以，用体脂重、身高和去脂重、身高指标进行投掷选手与普通大学生的比较更能显示他们之间身高、体重除外的身体成分的差别。

体脂重 较高是反映体内每米身高脂肪含量的指标；去脂重 较高是反映每米身高肌肉发达程度的指标。本调查表明，投掷各组的这两个指标均明显高于对照组（孕约 ），表明投掷选手不仅肌肉发达，体脂含量亦较高。这一结果与以往认为的“力量训练能发达肌肉、减少脂肪”的理论不相符。

二、投掷各组间的比较

“体脂重 较高”显示，男女铅球显示最高，男女铁饼选手居中，男女标枪手最低，并且互相之间有非常显著性的差异。这一结果似乎显示投掷选手皮脂的多少与运动项目有关。

据我国少儿肥胖症研究专家丁宗一等对人的无意识运动观察发现，肥胖者很少移动体重，而移动体重频率高者相对不易发生脂肪的堆积，邓沛玲等对我国优秀手球选手体型调查中，也发现活动频率和区域较局限的守门员体脂相对较高。由此可见，不同专项投掷选手皮脂不同的原因可能就在于其训练时移动体重频率的多少。标枪选手经常通过助跑、投掷步等较多移动体重的运动方式进行训练，很少有脂肪的堆积。铅球、铁饼选手在训练中很少有体重的移动，每次动作的时间亦较短，消耗的能量较少，这可能是他们的皮脂堆积较标枪选手多的原因。然而他们每天移动体重的频率至少要多于普通大学生，其皮脂堆积远多于普通大学生又如何解释呢？铅球、铁饼选手的运动方式较接近，两者的皮脂为何还会有显著差异呢？

男女标枪选手的皮脂含量虽属正常，但仍显著地高于普通大学生，可能与选材有关。因为在其他因素相同的情况下，体脂含量较高者，力量相对较大，这是多余的脂肪重量长期负重于身体引起的力量适应性增强的结果。

负重器械投掷选手的皮脂与训练程度的相关分析

重投（铁饼、铅球）选手的皮脂与专项成绩、训练年限的相关分析结果：男重投选手体脂重 较高与专项成绩、训练年限均有显著性相关。可以理解为他们肥胖症的发生是长期的专项训练造成的，且训练程度越高，皮脂越厚。比如：全国男子铅球冠军刘昊在本测试组的训练年限最长（ 年），成绩最好（ ），其皮褶厚度亦是本组之最（ ）。

女重投选手体脂重 较高与专项成绩、训练年限的相关系数较男重选手低，仅有女铁饼组的体脂重 较高与训练年限的相关达到了 水平，其

他均不见显著性相关。本文以为,并不能因此而怀疑她们肥胖的发生与专项训练的关系。因为笔者曾询问过有关受测者的教练,他们大多都有“经长期投掷训练后运动员皮脂增厚了”的感觉。黄志红、隋新梅等皮下脂肪显而易见的堆积现象就是对她们长期专项训练的“证明”。许多基层教练员也介绍,他们在选材时经常遇到一些女孩听说练投掷,都有“怕胖”不愿意练的现象。说明投掷训练能引起肥胖是普遍现象。本测试的女投掷选手皮脂厚度与训练程度相关较低的原因可能是:①受异常数据的干扰。如:铅球组国际健将程晓艳的成绩最好,皮下脂肪最少;铁饼组健将于青梅成绩最好,皮脂仅排第七位。这也许是偶然中的必然,意味着皮下脂肪的减少,对提高专项成绩是有益的。②受选材的影响。因为教练员选材时总偏重选质量大、力量强的选手,而皮脂厚者较为符合条件。两组都有几个这样的新选手,他们的训练水平还不高,皮脂却较厚,影响了上述相关系数。③女选手爱美、怕胖的心理比男选手更强烈。比如:在测试时,许多女选手都十分关心自己的皮脂,并不断询问“标准皮脂厚度”及“如何去脂减肥”的问题。所以,当她们发现自己随训练程度提高而发胖时,就会十分注意控制自己的皮脂。这也为我们提出了投掷选手肥胖的发展可以控制或减缓的可能。因此,女重投选手之所以发生了肥胖,原因与男选手一样,均是长期的专项训练造成的。

图 7-1 重器械投掷选手的皮脂与肌肉发达程度的相关分析

长期的专项训练为什么会重投选手发生肥胖呢?本调查发现,男女重投选手的体脂重与去脂重均呈高度正相关,亦即他们的肥胖程度与肌肉发达程度密切相关。这可能正是他们随专项训练使肌肉体积不断增大的同时也伴随着皮下脂肪的增厚。当其肌肉高度发达时,皮下脂肪的堆积,亦达到了重度肥胖。本文中铅球和铁饼选手间的肌肉体积的差异可能正是他们之间皮脂差异的重要原因。标枪选手的肌肉发达之所以不伴有皮脂的增厚,可能是他们在经常助跑、投掷步等的运动形式中动用更多的能量或很少合成脂肪的缘故。

综上所述,重投选手皮脂的显著增厚原因为:①训练时很少移动体重。②肌肉体积的增大。至于重投选手的肌肉发达为什么总伴随着皮脂的增厚?轻、重器械投掷选手同属无氧运动,移动体重的频率的多少为什么就可决定了皮脂的堆积?还有待进一步深入研究。

投掷比赛虽没有体重级别的限制，但皮脂的增厚将影响关节的伸展和运动，投掷选手之所以没重视去脂减肥，可能受“投掷选手的体重有利于运动成绩提高”观点的影响。因为体重大，运动起来动量亦大，最后用力时器械获得的动量转移值就大，运动成绩自然就好。

体重对投掷成绩的贡献率和过多的皮脂对成绩的影响率究竟谁占主要位置，还有待研究。但皮脂过厚，势必引起一些肥胖病，对身体健康不利。因此，重投选手在采取促使肌肉发达训练手段的同时应采取消除脂肪的措施。

摘自《北京体育大学学报》~~1995~~年第 4 期

摇摇世界上万物的一切活动都离不开能量，而能量的形式有多种多样，如有太阳能、热能、化学能、光能、电能等。生长在我们周围的植物通过吸收太阳能进行新陈代谢，人体当然无法靠太阳能来维持生命，但却能通过摄取食物，将其中的“燃料”在体内“燃烧”。如此产生的能量缘圆豫以上以热能形式散发，不足缘圆豫的变化成化学能。热能用于维持体温，化学能用来活动。通过上一章我们了解到这些化学能是人类巧妙地从食物中摄取并贮存于体内的，当我们在从事不同的运动时，这些能量又会通过哪些不同的途径供给我们呢？

第八章摇能 量 代 谢

新陈代谢是有机体生命活动的基本特征，新陈代谢过程中物质代谢和能量代谢是两个紧密联系的过程。在能量代谢过程中，可使各种物质的势能转变为动能。了解和研究运动过程中的能量消耗，可以为改善运动条件、提高运动效果、保证身体健康提供依据。

第一节摇人体运动时的能量来源

所有能量最初都是来自于太阳能。植物体内的化学反应（光合作用）把光能转化成化学能储存起来，人体通过摄取植物或者以植物为食的动物以获得能量。能量在实物中以糖、脂肪、蛋白质的形式储存，这些基本的成分可以在我们的细胞内分解释

放出能量。

因为所有能量最终都会转化成热能，所以生化反应中释放的能量是用产生的热量来计算的。生物系统中的能量是以千卡（千焦）为单位的。1千卡相当于使1克水从15℃升高到16℃所需要的能量。例如，一根燃烧的火柴，释放大约1000千焦热量，而1克糖完全氧化能释放1600千焦的热量。

细胞内的一些自由能量用于生长和修复机体。通过训练，肌肉会有所增大，运动或损伤之后，肌肉会得以修复。能量还用于许多物质如葡萄糖和钙离子通过细胞膜时的主动运输。主动运输对于细胞的存活、生理平衡的维持起着重要的作用。

一、能量来源

食物中含有碳水化合物、脂肪、蛋白质等元素，其分子的结合相对较弱，被破坏释放出很少的热量。因而，食物中的能量并不能直接用于细胞活动，只能在细胞中发生化学反应时释放出来，以高能化合物三磷酸腺苷（ATP）的形式储存，ATP是一种储存能量并可以直接供给细胞能量的高能化合物。

安静时，身体所需要的能量几乎一半来源于糖类的分解，一半来源于脂肪。蛋白质用于构成身体的基本成分，也可以为细胞提供少量能量。肌肉收缩强度由低到高时，糖利用比例越来越大，脂肪供能比例越来越小；在短时间高强度运动中，ATP几乎全部由糖分解合成。

糖类

糖类最终转化成葡萄糖，通过血液循环运输到全身各组织细胞。在安静状态下，摄入的糖在肌肉和肝脏中的糖原在必要时可以重新转化为葡萄糖，然后运输到相应的组织细胞中被氧化。

肝糖原和肌糖原的储量是有限的，如果不能从食物中摄取适量的糖类，糖就会消耗殆尽。所以人体必须摄取食物中的淀粉和

糖，用以补充体内的糖储备。如果不能保证足够的糖摄入，肌肉和肝脏会失去基本的能量来源。

脂肪

人体脂肪的储量远大于糖。脂肪的主要成分是甘油三酯，广泛存在于人体各组织器官和血液中。甘油三酯在脂肪酶作用下水解为甘油和脂肪酸，其中甘油只能在肾、肝等少数组织被氧化利用。由于肌肉内缺乏磷酸甘油激酶，所以，甘油直接为肌肉供能的意义不大。脂肪酸是长时间运动的基本燃料，在线粒体内一系列酶的催化下，脂肪酸逐步裂解出二碳单位——乙酰辅酶A，再经三羧酸循环和呼吸链氧化生成ATP。

值得注意的是，骨骼肌中储存的糖只能生成ATP约100g（约1000kJ能量，相当于慢跑所需要的能量，而储存的脂肪所能生成的能量超过1000g（约10000kJ）。单位重量的脂肪所能生成的能量[约9kcal/g（约37.7kJ/g）]比相同量的糖中生成的能量[约4kcal/g（约16.7kJ/g）]多。但是，脂肪分解释放能量的速率太慢，不能满足肌肉在高强度运动时的能量需求。

蛋白质

蛋白质对人体最重要的意义在于构成身体的基本结构。在长时间大强度运动时，人体内存在蛋白质净降解和氨基酸参与供能的情况。蛋白质可以为机体提供超长时间运动所需能量的约10%~15%，只有构成蛋白质的基本结构——氨基酸才能作为能源物质。氨基酸的分解代谢通常开始于脱去 α 原氨基，生成相应 α 原酮酸。脱去 α 原氨基的方式是转氨基和氧化脱氨基作用，脱去氨基后，相应的酮酸可以从不同部位进入三羧酸循环，最终通过有氧化生成ATP。

二、ATP的生成和贮存

人体的能量虽来自食物，但人体的组织细胞并不能直接利用

食物中的能量，而需一个中间环节，这就是 **ATP**。**ATP**广泛存在于所有细胞内，是一种不稳定的化合物。它由一个腺苷和三个磷酸根组成，其中最后两个磷酸根以高能磷酸键连接。在 **ATP酶** 的作用下，最后一个磷酸脱离 **ATP** 分子，立即释放大量的能量，然后 **ATP** 转化成二磷酸腺苷 (**ADP**) 和磷酸。

肌细胞内 **ATP** 贮备量十分有限，但由于 **ATP** 在消耗的同时，又不断再合成，其分解和再合成过程密切地偶联在一起，使人体利用 **ATP** 的总量非常大。如：一个静卧状态的人，圆筒内消耗 **ATP** 约 100g 。在剧烈运动时，**ATP** 的利用率可高达 100% 。

能源物质在体内释放的能量约 50% 直接转变为热能，用于维持体温，并向外界散发。其余不足 50% 不能被直接利用，必须贮存在 **ATP** 的高能磷酸键内。当能量过剩时，可通过 **ATP** 将高能磷酸键转移给肌酸，肌酸和磷酸合成为磷酸肌酸 (**CP**) 贮存起来。

第二节 人体运动时的能量供应

一、人体的三个供能系统

如上所述，**ATP** 是人体一切生命活动的直接能源。**ATP** 是高能磷酸基团的储存库。**ATP** 的贮量有限，远不能满足身体活动的需要。所以，必需边分解边合成，才能不断地供应肌肉活动的需要，**ATP** 再合成所需要的能量来自三条途径，一是磷酸肌酸 (**CP**) 的分解放能；二是糖原酵解生能；三是糖、脂肪和蛋白质的氧化供能。但肌肉中磷酸肌酸的贮量也只是 **ATP** 贮量的 3 倍左右，肌肉中的 **ATP** 和 **CP** 全部贮量的动员，也只能维持不到 10s 的全身激烈运动。肌肉活动过程中，最终动用的能源物质是糖和脂肪。虽然蛋白质可用作有氧供能系统中的一种能源，但蛋

白质作为能源物质是非常不经济的,所以由其供能的重要性也是很小的,只是在极长时间的运动中才参与少量的供能。

ATP的再合成包括磷酸肌酸分解、糖原酵解及有氧氧化三条途径,形成了运动时骨骼肌内三个供能系统。前两条途径是不需要氧的代谢过程,故又合称为无氧代谢供能系统,第三条途径是需氧代谢,故称有氧代谢系统。

磷酸原供能系统 (ATP-CP供能系统)

ATP是肌肉收缩时将化学能转变为机械能的唯一直接能源。由ATP和CP分解反应组成的供能系统称磷酸原供能系统,有时又称为ATP-CP供能系统。ATP和CP都是贮存在细胞中的高能磷酸化合物。虽然肌细胞内ATP储量有限,但ATP有极高的转换率,据报道,美国短跑时,ATP转换率可以提高100倍之多。当肌肉收缩时ATP迅速分解,与ATP分解相偶联的是CP迅速分解放能,供ATP再合成ATP。每克CP分解时,可再合成ATP 1.5克。

安静时,肌肉中CP的含量为ATP的3~5倍,剧烈运动时,肌肉中CP含量迅速减少。而ATP的含量变化不大,在ATP充足时,CP又依靠ATP分解时放出的能量而再合成。CP合成的速度取决于肌中ATP的浓度、肌酸的含量以及肌酸激酶(CPK)的活性。

CP的含量虽比ATP多3~5倍,但其含量也是有限的。据计算,人体每千克肌肉含高能磷酸化合物15~20g,其中ATP与CP的比率为1:3(有些报道是1:5)。人体肌肉重量约占体重的15%,故一个体重70kg的人,肌肉约为10.5kg,以每千克肌肉含高能磷酸化合物15g计算,其竭尽全力运动时,依靠磷酸原系统供能所能支持的时间为10s。

磷酸原系统中ATP、CP均以水解分子内高能磷酸基团的方式供能,所以运动开始时最早起动,最快利用,具有快速供能和最大功率输出的特点。人体中磷酸原系统是一切高功率的运动,

如冲刺、投掷、跳跃、足球射门等活动的供能基础。研究证明，以上这些高功率项目运动员与常人在完成需氧量相同的运动时，运动员的血乳酸出现较晚。

糖酵解供能系统

糖原或葡萄糖无氧分解生成乳酸，并合成ATP的过程为糖的无氧酵解，又称为糖酵解。糖酵解供能是机体进行大强度剧烈运动时的主要能量系统。据推测，依靠糖酵解供能系统能支持的时间约为3~5分钟。

在以最大强度运动3~5分钟时，糖成为主要的供能物质。同时，糖酵解过程被激活，肌糖原迅速分解参与供能，成为维持极量运动的重要能量系统。在全力运动3~5分钟时，糖酵解可达最大供能速率，其输出功率约为磷酸原系统的一半。

血乳酸水平是衡量糖酵解供能系统能力的最常用指标，专门的“无氧训练”，能提高人体糖酵解供能系统供能能力。在完成同一的定量工作时，有训练者的血乳酸较无训练者低；而在完成短时间的极量运动后，有训练者的血乳酸水平比无训练者高。这种现象可能与有训练者的肌中糖原含量较高，以及随着训练水平的提高糖的动用水平也提高有关。人体最大的糖酵解供能系统能力随年龄而变化（图15-15）。

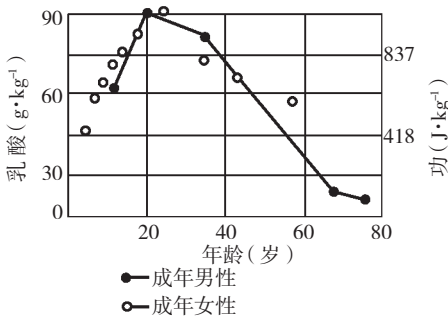


图 15-15 筋疲力尽的大运动量后血乳酸浓度与年龄相关

糖酵解供能系统在运动中表现出的肌肉力量和运动强度都不如磷酸原系统，但可以维持的运动时间较长，是猿园皂以内最大强度运动的主要供能系统。乳酸在体内积聚过多时，会使内环境中酸碱度的稳态破坏，从而阻碍肌糖原或葡萄糖继续进行无氧代谢，直接影响粤腺苷的再合成，导致肌肉疲劳。

乳酸能供能能力的重要意义是在氧供不足时，仍能快速供能以应付身体急需。如对源园皂或愿园皂跑等，以最大速度完成的运动中是十分重要的。

獭有氧化系统

在氧的参与下，糖、脂肪和蛋白质氧化生成二氧化碳和水的过程称为有氧代谢。有氧代谢过程释放能量合成粤腺苷，构成骨骼肌内有氧化供能系统。有氧化系统，可以维持较长的工作时间。所以，有氧化系统是进行长时间耐力活动的主要供能系统。

人体中有氧供能系统的输出功率较低。当氧供应充足时，从理论上讲，体内贮存的糖，特别是脂肪是不会耗尽的，故其能量容量为无限大。当肌肉中的糖原含量降低到一定的水平时（低于每千克肌猿克时），有氧化系统的功率输出降低。评定人体有氧化供能系统的能力，主要用最大吸氧量和无氧阈等指标。

三种能量系统的一般特点如表愿-员所示。

表 愿-员 三种能量系统的一般特点

磷酸源系统	乳酸能系统	有氧系统
无氧代谢 供能十分迅速 化学能源：悦腺苷 粤腺苷生成很少 肌中贮量少 用于短跑或任何高 功率、短时间活动	无氧代谢 供能迅速 食物能源：糖原 有限的粤腺苷生成 副产品乳酸可导致肌 肉疲劳 用于员-猿园皂的活动	有氧代谢 供能慢 食物能源：糖、脂肪 粤腺苷生成很多 没有导致疲劳的副产 品 用于耐力或长时间的 活动

二、不同活动状态下供能系统的相互关系

安静时以及不同强度和持续时间的运动时，骨骼肌有氧代谢和无氧代谢供能的一般特点如下：

■安静时

体内的能量消耗少， $\dot{V}_{O_2}$ 保持较高水平，氧的供应充足，肌细胞内以游离脂肪酸和葡萄糖的有氧代谢供能。体内氧化脂肪酸的能力比氧化丙酮酸强，即氧化脂肪酸的能力大于糖的有氧代谢。

■短时间剧烈运动时

在接近和超过最大摄氧量强度运动时，机体以无氧代谢供能；极量运动时，机体以 $\dot{V}_{O_2}$ 供能为主；超过 $\dot{V}_{O_{2max}}$ 的运动，糖酵解供能的比例增大。随着运动时间的延长，血乳酸的水平始终保持上升趋势，直至运动终止。

■中大强度运动时

随着运动强度的提高，机体对能量的需求进一步提高，但在血流量调整后，机体对能量的需求仍可由有氧代谢得到满足，即有氧代谢供能与总功率输出之间保持平衡。在这类运动中，血乳酸浓度保持在较高的水平上，说明在整体上基本依靠有氧代谢供能，部分骨骼肌由糖酵解合成 $\dot{V}_{O_2}$ 。血乳酸浓度是由运动肌细胞产生乳酸与高氧化型细胞或其他组织细胞内乳酸代谢之间的平衡决定的。

■长时间低强度运动时

在长时间低强度运动时，机体内 $\dot{V}_{O_2}$ 的消耗逐渐增多， $\dot{V}_{O_2}$ 再合成所需能量以有氧代谢供能为主。机体内脂肪酸氧化供能增强。

由于运动开始时，机体内血流量不能及时增大，因而在运动开始后的一段短暂时间内， $\dot{V}_{O_2}$ 是 $\dot{V}_{O_2}$ 的主要无氧代谢来源；在

运动开始几秒钟后,不需氧的糖酵解被启动,起着填补氧亏空的作用,直到有氧代谢能力充分调动起来为止。值得注意的是,在低强度运动的最初数分钟内,血乳酸浓度稍有上升,但随着运动的继续,逐渐恢复到安静时水平。

总之,短时间激烈运动(5min以内)基本上依靠磷酸原和糖原贮备供能;长时间低、中强度运动时,以糖和脂肪酸有氧代谢供能为主;而运动时间在5min至1h内,执行全力运动时,所有的能源贮备都被动用,只是所动用的能源物质随时间变化而不同。

运动结束后的一段时间,机体组织细胞内有氧代谢水平仍高于安静时水平,它产生的能量用于运动时所消耗能源物质的恢复。

三、能量连续统一体的理论及其应用

能量连续统一体的概念

运动中基本不存在一种能量物质单独供能的情况,在不同的运动项目中,由于其强度、持续时间以及技术结构等的不同,三种能量系统在不同的运动项目中,所占的比例也各不相同,亦即每个能量系统在合成ATP的比例与进行的运动专项有关。例如,短跑是高功率输出的活动,其ATP的再合成主要依靠磷酸原的分解(即依靠磷酸源系统),而时间长、强度小的马拉松跑,其ATP的再合成几乎全部由有氧系统来实现供能。短跑时ATP的再合成,除了依靠磷酸源系统外,还要依靠乳酸能系统再合成ATP;长跑和马拉松跑中ATP的再合成则是由于无氧和有氧系统共同实现的。短跑,在起跑和终点冲刺中,主要由无氧系统供应ATP,而途中跑期间则由有氧系统供应ATP。上述事实表明不同类型的运动项目的能量供应途径之间,以及各能量系统之间是相互联系形成的一个连续统一体。在运动

以运动时间为区分标准。提出以运动项目的运动时间来确定不同的运动项目在能量连续统一体中的位置，并依此将统一体划分为四个区域。图 和表 表明，在一项运动中三种能量系统供给 的百分比与活动时间及输出功率之间有紧密的依存关系。运动时间越短，输出功率越大，能量需求也就越多。能量连续统一体的一端是时间短、强度大的运动，如短跑，主要由磷酸原系统使 再合成；能量连续统一体的另一端是运动时间长、强度小的运动，如马拉松跑的能量几乎全部由有氧代谢系统使 再合成；处于能量连续统一体中间的运动， 的再合成需根据运动的特点，有氧系统和无氧系统以不同的比例来完成。

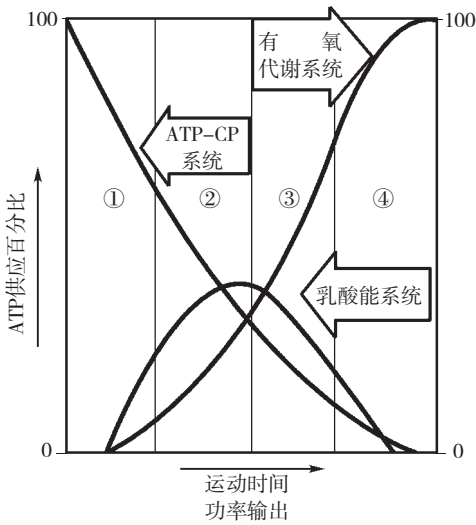


图 以运动时间为标准的能量连续统一体的四个不同活动区域

能量连续统一体理论在体育实践中的运用

从上述可知，人体的运动能力在很大程度上取决于人体提供

能量的能力。因此，如何把能量系统理论所提供的原则应用于实践，对提高教学和训练效果具有重要意义。

(员 着重发展起主要作用的供能系统。能量连续体揭示，不同的运动项目，其主要的供能系统是不同的。在制定某一项教学和训练计划时，应着重发展在该项活动中起主要作用的能量系统。如马拉松跑运动员主要依靠有氧氧化来供应所需的 能量，为了提高马拉松跑的成绩，训练应着重提高其有氧系统的能力。反之，短跑运动员的训练应选择能增进无氧系统能力的方法。表愿-圆中提供的数值，是通过分析完成各项运动中，有关技术所需的能量系统而估计出来的，只作制定训练计划时的参考。

(圆 制定合理的训练计划。当明确训练中应着重发展那些能量系统之后，下一步就是选择最有希望获得最有效的训练方法。表愿-猿中列举了 员种训练方法，包括每种训练方法的定义和它对发展各种能量系统所起的作用（用增进的百分比来表示）。这 员种训练方法中的大多数，已在世界各地的田径训练中有所发展，其中有几种训练方法的作用是可变的，它既可调节成为主要发展两个无氧供能系统（即磷酸原系统和乳酸能系统），又可以调节成为主要发展有氧供能系统，还可以调节成为使三个供能系统得到均等的发展。

下面举例说明如何使用表愿-圆和表愿-猿 如果要训练一名 猿园园 米的运动员，可先从表愿-圆中查出 猿园园 米跑起主导作用的能量系统是有氧系统，其次是乳酸系统。根据表愿-圆所获得的材料再查表愿-猿便可获知该采用哪种训练方法，可以发展 猿园园 米跑所需的能量系统。由表愿-猿可见，间歇训练和速度游戏（法特莱克）适合发展 猿园园 米跑运动员的需要。当然，具体的训练计划还需考虑到运动技术的专门性。总之，为有效发展该项目主导能源系统，应选择与该项目供能比例最接近的训练方法，制定出合理的训练计划。

表 愿- 圆 各种运动活动中起主导作用的能量系统

运动项目	各能量系统所占的比例 (豫)		
	磷酸原系统和糖酵解系统	糖和有氧系统	有氧系统
摇摇摇棒球	圆	圆	—
摇摇摇篮球	缘	缘	—
摇摇摇击剑	圆	圆	—
摇摇摇足球	圆	圆	—
摇摇摇体操	圆	圆	—
冰球摇摇圆前锋、防守	圆	圆	—
摇摇摇圆守门员	缘	缘	—
摇摇摇划船	圆	圆	缘
滑雪			
摇摇摇圆障碍滑雪、跳、下坡	圆	圆	—
摇摇摇圆越野	—	缘	缘
游泳、潜水			
摇摇摇圆自由泳、潜水	缘	圆	—
摇摇摇圆蛙泳 (各种姿势)	圆	缘	缘
摇摇摇圆仰泳 (各种姿势)	圆	缘	缘
摇摇摇圆自由泳	圆	圆	圆
摇摇摇圆蝶泳	圆	圆	圆
网球	圆	圆	圆
田径摇摇圆短跑、圆短跑	缘	圆	—
摇摇摇圆田赛项目	圆	圆	—
摇摇摇圆长跑	圆	缘	缘
摇摇摇圆中跑	圆	缘	缘
摇摇摇圆慢跑	圆	缘	圆
摇摇摇圆长跑	圆	圆	圆
摇摇摇圆马拉松	缘	缘	圆
摇摇摇圆马拉松	—	缘	缘
排球	圆	圆	—

圆：乳酸系统

表 愿 猿各种训练方法的定义及其对增进各种能量系统的比例

训练方法	定义	增进比例（豫）		
		磷酸原和糖酵解系统	糖酵解和有氧系统	有氧系统
加速疾跑	在 源园- 员园园皂段落中，从慢跑开始逐渐加速到疾跑。	怨园	缘	缘
持续快跑	快速长距离跑（或游泳）。	圆	愿	怨园
持续慢跑	慢速长距离跑（或游泳）。	圆	缘	怨猿
穴形疾跑	两次疾跑之间加一个慢跑或走，故称穴形。	愿缘	员园	缘
间隙疾跑	源园皂疾跑与 缘园皂放松慢跑相交替。跑的总距离是 缘园园园皂。	园园	员园	苑
间歇训练	两次工作期间之间有一个休整期。	园- 愿园	园- 愿园	园- 愿远
慢跑	持续走（或跑）一个中等距离（例如 猿园园园皂）。	—		员园园
重复跑	相似于间歇训练，但工作期与休整期的时间比较长。	员园	缘园	源园
速度游戏（法特莱克）	在自然条件下交替快跑与慢跑。	园园	源园	源园
疾跑训练	重复全速疾跑，两次疾跑之间的间歇期长短以完全恢复为标准。	怨园	远	源

第三节摇能量代谢的测定原理与方法

机体活动所需要的能量，最终都来源于糖、脂肪和蛋白质等物质的氧化。根据能量守恒定律，能量在由一种形式转化为另一种形式的过程中，既不会增加也不会减少。机体的能量代谢也遵循这一普遍规律，所以机体所利用的蕴藏于食物中的化学能，应

等于它最终转化成的热能与所做的外功之和。据此原理可以通过食物中含有的能量来计算人体的能量代谢，但由于食物的消化、吸收不一定完全，而且被吸收的那部分营养物质也不一定都在该段时间内参与分解代谢的供能过程，所以该方法不准确。实践证明，测定整个机体单位时间内向外散发的热量来计算能量代谢是可行的（为了计算上的方便，通常应避免作外功）。如果机体处于静息状态，而未作外功，所释放的能量应全部转化成热能散发，测定单位时间内机体所产生的热量，就可以测算出机体的能量代谢。如果机体在运动或劳动时，则在测定其散发热量的同时，应再加上在该时间内用于完成外功——机械功所折算的能量（每 1 千焦耳的功相当于 0.239 千卡的热量），就会得出运动或劳动情况下机体所消耗的总能量。这样就可以通过运动时的能量代谢率来推知运动者的能量消耗状况及运动强度，为运动员的营养和判断运动负荷提供科学依据。要测定整个机体在单位时间内散发的总能量可以采用直接测热法和间接测热法。直接测热法即直接测定机体在一定时间内所散发的热量的方法。直接测热装置较复杂，且不大适用于人体，更不适用以测定人体在运动时的能量代谢，所以在实际工作中一般不予采用。间接测热法其原理是根据糖、脂肪、蛋白质等营养物质在体内氧化分解时，所消耗的氧与二氧化碳的定比关系间接推算出机体的产热量。

一、食物的热价和氧热价

食物在人体内氧化的过程中，每一克食物完全氧化时所产生的热量称为该食物的热价。热量的单位是焦耳（ J ，它也是功和能的单位（ J 是用 1 牛顿力推动物质移动 1 米所需要的能量）。糖和蛋白质在体内氧化分解与在体外燃烧所产生的热量是相等的，1 克糖完全氧化时产热 17.15 千焦耳，1 克脂肪完全氧化时产热 39.54 千焦耳，蛋白质在体内氧化时一般不完全（部分以尿素的形式排出体

外)，因此，它在体内氧化与在体外燃烧所产生的热量不相等，员早蛋白质在体外燃烧时产热 10.45 员早蛋白质在体内氧化时产热 10.05

食物在人体内氧化的过程中，每消耗 员升氧氧化某物质所产生的热量称为该物质的氧热价。由于糖、脂肪和蛋白质所含的碳、氢、氧元素的比例不同，因此每种物质完全氧化时所需要的氧和所产生的二氧化碳也不同，从而使得消耗同样量的氧时，各物质所释放的热量也不同。糖、脂肪、蛋白质的食物热价和氧热价如表 愿 源所示。

表 愿 源三种营养物质氧化时的几种数据

营 养 物 质	食物的卡价		吸氧量 L·早 ^负	产生的 量 L·早 ^负	氧热价		呼吸商 L·早 ^负 / L·早 ^负
	早 ^负	早 ^负			早 ^负	早 ^负	
糖	15.65	15.65	10.05	10.05	15.65	15.65	1.00
脂肪	39.85	39.85	20.93	20.93	39.85	39.85	0.71
蛋白质	17.15	17.15	15.95	15.95	17.15	17.15	0.81

二、呼吸商

各种物质在体内氧化时所产生的二氧化碳与所消耗的氧的容积之比（产生的量 / 消耗的氧），称为呼吸商。各种物质氧化时所消耗的氧量和产生的 量是不一样的。机体在氧化糖时，其耗氧量与 生成量恰好相等，呼吸商为 1；如若氧化脂肪或蛋白质时，则耗氧量远较 的生成量为多，所以脂肪的呼吸商为 0.71 蛋白质的呼吸商为 0.81

在人们的生活中，机体内不可能由单一能源物质参与分解代谢的。所以，呼吸商常依机体当时糖、脂肪和蛋白质参与分解代谢的比例而变动于 0.71~1.00 之间。如机体当时主要依靠糖的氧化分解供能，则呼吸商接近于 1.00；若主要依靠脂肪氧化

供能，呼吸商则接近于 0.7；若在长期饥饿或消耗量极大的情况下，机体利用本身的蛋白质和脂肪供能时，呼吸商则接近于 0.8。在一般情况下，呼吸商常在 0.8 左右。因此，测定呼吸商可以了解在某一段时间内，机体内动用能源物质的大致比例和这一段时间内的氧热价。但要注意，有些因素会造成呼吸商的值偏移；如人体进行剧烈运动时，由于缺氧，糖酵解加强，大量乳酸同碳酸盐缓冲系统作用后形成碳酸，后者分解为 CO_2 由呼气中排出，致使呼吸商变大。但这时所增加的 CO_2 并非是体内氧化过程中生成的，而是从人体的碱贮备中释放出来的。再如，人体进行随意过度通气时，呼吸商也增大。所以在这两种情况下，不能用呼吸商来计算其能量代谢。用呼吸商的氧热价计算能量消耗，只适用于安静时（平静呼吸时）和没有过度通气的有氧性质的亚极量运动。

三、摄氧量与 CO_2 的生成量测定

测定摄氧量与 CO_2 生成量的方法有闭合式和开放式两种测定法。

1. 闭合式测定法

其方法是，运用代谢率测定器，受试者不断从闭合装置中摄取 O_2 ，而呼出的 CO_2 由吸收剂吸收。根据闭合装置内 O_2 容积的减少量，即可计算出单位时间内的耗氧量，再根据实验前后 CO_2 吸收剂的重量差，即可计算出单位时间内 CO_2 的生成量。闭合式测定法一般用于测定基础代谢。

2. 开放式测定法

其方法是，在有机体呼吸空气的情况下，采集一定时间内的呼出气，测定呼出气量，并分析呼出气中 O_2 和 CO_2 的容积百分比，比较吸入气（空气）中 O_2 和 CO_2 容积百分比的差数，就可以计算出该时间内的耗氧量和 CO_2 的生成量。

四、产热量的计算

表 1-1 糖、脂肪、蛋白质呼吸商和氧热价

呼吸商	糖 (豫)	脂肪 (豫)	氧热价 (噤)
0.71	0.71	0.71	0.71
0.72	0.72	0.72	0.72
0.73	0.73	0.73	0.73
0.74	0.74	0.74	0.74
0.75	0.75	0.75	0.75
0.76	0.76	0.76	0.76
0.77	0.77	0.77	0.77
0.78	0.78	0.78	0.78
0.79	0.79	0.79	0.79
0.80	0.80	0.80	0.80
0.81	0.81	0.81	0.81
0.82	0.82	0.82	0.82
0.83	0.83	0.83	0.83
0.84	0.84	0.84	0.84
0.85	0.85	0.85	0.85
0.86	0.86	0.86	0.86
0.87	0.87	0.87	0.87
0.88	0.88	0.88	0.88
0.89	0.89	0.89	0.89
0.90	0.90	0.90	0.90
0.91	0.91	0.91	0.91
0.92	0.92	0.92	0.92
0.93	0.93	0.93	0.93
0.94	0.94	0.94	0.94
0.95	0.95	0.95	0.95
0.96	0.96	0.96	0.96
0.97	0.97	0.97	0.97
0.98	0.98	0.98	0.98
0.99	0.99	0.99	0.99
1.00	1.00	1.00	1.00

通过呼吸商可以了解能量代谢的情况，但糖、脂肪、蛋白质三种营养物质参与代谢的混合呼吸商却无法确定三种营养物质的比例，也无法求出混合呼吸商时的氧热价。因为蛋白质在体内不能完全氧化，而它分解所产生的含氮物质完全随尿排出，故可根据尿中所排出的尿氮量来计算蛋白质的消耗量。将蛋白质消耗量乘以蛋白质的热价，便可得出蛋白质的产热量，再加上非蛋白质部分（糖和脂肪）的产热量，就可以推算出有机体总的产热量。这种间接测热法的完整计算方法，由于步骤多而繁，且不准确，因而在实际操作中很少运用。一般可以不考虑蛋白质代谢部分，将非蛋白质呼吸商代替三种营养物质的混合呼吸商。非蛋白质和氧热价如表所示。

查出相应的氧热价作为混合氧热价，将混合氧热价乘以耗氧量，便可得出该时间内的产热量。

第四节 影响能量代谢的主要因素

一、基础代谢

基础代谢又称基础代谢率，是指人在基础状态下的能量代谢。所谓基础状态是指人在清醒、空腹、无肌肉活动和紧张的思维活动、环境温度适宜的状态。基础代谢率（ BMR ）以每小时、每平方米体表面积 of 产热量（ $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ ）来表示。基础代谢率之所以采用单位体表面积为标准进行比较，是因为研究结果表明，机体代谢率的高低与体重有关，但不成比例关系，而与体表面积成正比。

基础代谢率随性别、年龄而异，通常男子的基础代谢率比女子高，儿童比成年高，老年比壮年低。我国基础代谢率水平见表 1-1。健康成人的基础代谢率为每小时每千克体重消耗的能量 12.5~14.5 kJ (3.0~3.5 kcal)，凡基础代谢率在正常值 10%~15% 之内的都属正常，大于或小于 15% 时需作进一步检查。

表 1-1 我国正常人的基础代谢率平均值 (单位: kJ·kg⁻¹·h⁻¹)

年龄	1~14 岁	15~17 岁	18~24 岁	25~34 岁	35~44 岁	45~54 岁	55 岁以上
男性	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)
女性	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)	12.5~14.5 (3.0~3.5)

注：括号内以 kcal·kg⁻¹·h⁻¹ 表示。

运动员的基础代谢率与常人相似，但由于运动员的总热能消耗量比一般人高，因此基础代谢率占总热能消耗的百分比减少。骨骼肌活动对代谢率的影响最显著，但经过一夜的睡眠休息，次日清晨的基础代谢率应该是较恒定的。若高于平日而又无其他原因可解释时，就有可能是前一天的运动量过大，身体还未完全恢复，所以基础代谢还可以作为评定运动员恢复与否的一项参考指标。

二、肌肉活动

肌肉活动对于能量代谢的影响较为显著，机体任何轻微的活动都可以提高代谢率。人在激烈运动或劳动时，产热量可超过安静状态下产热量的许多倍，而且在肌肉活动停止后的一段时间内，能量代谢仍维持在较高水平。这是因为，运动开始时，机体的需氧量立即增加，但是机体的循环、呼吸机能有个适应过程，

摄氧量暂时跟不上肌肉代谢的实际耗氧量的需要，此时机体只能凭借贮备的高能磷酸键和进行无氧代谢来供能，在运动持续过程中，机体的摄氧量与耗氧量刚好平衡。因此在肌肉活动停止以后的一段时间内，循环和呼吸机能继续要维持在较高水平，以摄取更多的氧。

三、食物的特殊动力效应

人们在进食后的一段时间内（从进食后 15 分钟左右开始，延续到 3-5 小时左右），虽然同样处于安静状态但所产生的热量却要比未进食前有所增加。进食能使机体产生额外的能量消耗，这种现象称为食物特殊动力效应。这可能与营养物质吸收后造成的大脑活动的增强、激素分泌的增加和不能被消化的物质的转移有关。

四、其他因素

许多内分泌激素也能影响能量代谢，如前所述的肾上腺素外，甲状腺激素分泌增加，能量代谢增高；反之，则下降。精神紧张及应激状态可使人的能量消耗增加，机体处于精神紧张状态时，代谢率将会增加，这是由于骨骼肌紧张性增强，交感神经兴奋，肾上腺素分泌增加，使机体代谢加强的缘故。环境温度对能量代谢的影响，在 15℃ ~ 30℃ 的环境中最为稳定。实验证明，当环境温度低于 15℃ 时，代谢率开始有所增加；在 5℃ 以下时，代谢率显著增加。环境温度低时代谢率增加，主要是由于寒冷刺激反射性地引起寒战和肌肉紧张所致。当环境温度超过 30℃ 时，代谢率也增加，这可能是体内化学过程的反映速度有所增加所致，也可能与发汗机能旺盛及循环、呼吸机能增强等因素有关。

第五节 运动时能耗量的计算及其意义

一、运动时能耗量的计算

人即使处于极其安静状态下，也必需消耗一定的能量以维持呼吸、循环、代谢等正常生命活动的进行。据测定，此值若以摄氧量来表示，将相当于 1.2 升/分，而运动时的净能耗量是指真正用于运动的能耗量，故不应包括维持正常生命活动所需要的能量。所以在计算一项运动的净能耗量时，必需减去同一时间内用以维持正常生命活动所需的能量，即安静时的能耗量。此外，还必须考虑到运动时能量代谢的强度远比一般劳动大，不可能全部由有氧代谢来供应，经常伴有或大或小的氧亏，这部分氧亏需在运动后的恢复期内偿还。因此在计算某项运动的净能耗量时，还必须包括恢复期内用以偿还氧亏的这部分过量氧耗（等于恢复期内的摄氧量减去同一时间内安静时的需氧量）。故在实际测算时，在测得运动中和恢复期的摄氧量后，先按下式求出该运动的净需氧量：

运动的净需氧量 = (运动中摄氧量 - 恢复期摄氧量) ÷ 原安静时摄氧量 × (运动时间 + 恢复时间)

再根据呼吸商查出氧热价，用氧热价乘以运动时间的净需氧量，即得运动时的净能耗量。

例如：试计算某受试者完成 1000 瓦功率自行车定量负荷运动的净总能量消耗，其测试数据如下。

时间	内容	耗氧量 (升)	二氧化碳产量 (升)
10 分钟	安静 (坐在车上)	1.2	1.0
10 分钟	蹬车 (定量负荷)	12.0	9.0
10 分钟	恢复 (坐在车上)	1.5	1.2

缘皂安安静时的呼吸商 越二氧化碳产量 衣耗氧量

越无因缘衣缘越无因缘

查氧热价对照表：呼吸商为 缘缘缘时，可产生 源缘缘（缘造热量。

缘皂安安静时的能量消耗 越耗氧量 伊氧热价

越无缘伊缘缘越无因缘（缘造

缘皂运动时的呼吸商 越二氧化碳产量 衣耗氧量

越无因缘衣缘越无因缘

查氧热价对照表：呼吸商为 缘怨时，可产生 源怨缘（缘造热量。

缘皂运动时的净能量消耗 越运动时的总能量消耗 原同时间内安静状态下的能量消耗

摇 越（缘缘伊缘怨 原（无缘伊缘怨 越无因缘（缘造

猿皂恢复期内的呼吸商 越二氧化碳产量 衣耗氧量

越无因缘衣缘越无因缘

查氧热价对照表：呼吸商为 缘怨时，可产生 源怨怨（缘造热量。

猿皂安安静时的能量消耗 越缘皂安安静时的能量消耗 伊远

越无因缘伊远越无因缘（缘造

猿皂恢复期内的净能量消耗 越恢复期的总能量消耗 原同时间内安静状态下的能量消耗

摇 越（缘缘伊缘怨 原（无因缘伊远 越无因缘（缘造

运动总净能量消耗 越运动时净能量消耗 垣恢复期的净能量

越无因缘垣无因缘越无因缘（缘造

因此，该运动中机体的净总能量消耗为 怨怨怨（缘造。

二、计算运动时能耗量的意义

计算运动时的能耗量可以推知运动者的能量消耗状况，从而

了解运动的强度即肌肉工作的机械效率，为改进运动员的营养和判断运动负荷提供科学依据。

评定运动强度

由于体育运动的激烈程度与能耗量的多少成正相关，因而可用能耗量作为参数来划分运动强度。常用的方法有两种：

(员 按活动时能耗量与基础代谢的比值来划分。此比值又称相对代谢率 (即 即：

运动强度 (相对代谢率) 越 $\frac{\text{运动时能耗量}}{\text{基础代谢}}$

根据相对代谢率 (即)，可把运动或体力活动的强度分为轻 (、重 (、和很重 (大于 三个等级。

(圆 按人体安静时能耗量的倍数或梅脱 (来划分。梅脱与安静时的能耗量或代谢率相当。若以摄氧量来表示，安静时的能耗量相当于 圆梅脱，故 员梅脱等于每分钟吸氧 圆梅脱，圆梅脱即相当于 圆倍安静时的能耗量或 缘梅脱，以此类推。若按运动时摄氧量或梅脱来划分，通常将运动强度分为 缘级，表 愿 苑是根据无训练者在完成不同运动强度时的能耗量来制定的。

表 愿 苑运动强度的分级表 (五级)

性别	能别	噪 宅	蕴·宅	宅·宅·噪	梅脱 (宅)
男	轻	愿原 圆缘	圆原 圆怨	源员 员缘	员远 猿怨
	中等	圆·猿	员原 员怨	员猿猿 圆怨	源园 缘怨
	重	猿原 源原	员原 员怨	圆原 圆远	远园 苑怨
	很重	源·缘	圆原 圆怨	猿苑 猿猿	愿园 怨怨
	过重	缘猿 摇摇	圆原 摇摇	猿原 摇摇	员原 摇
女	轻	远猿 员缘	圆猿 圆怨	缘原 员缘	员圆 圆苑
	中等	员猿 圆远	圆原 圆怨	员远 员怨	圆愿 源猿
	重	圆猿 猿	员原 员怨	员怨 圆员	源原 缘怨
	很重	猿原 猿原	员原 员怨	圆原 猿原	远园 苑缘
	过重	摇源 猿愿	员原 摇摇	猿缘 摇摇	苑远 摇

机械效率的计算

(一) 机械效率。肌肉活动时所作的机械功与所消耗的总能量之比，称为肌肉工作的机械效率，单位能耗所完成的功愈大，则机械效率就愈高。其公式为：

$$\text{机械效率} = \frac{\text{完成的功}}{\text{总能耗量}}$$

例如，某人在运动过程中完成的外功是 1000 J，能耗量为 1500 J，则肌肉的工作效率为 $\frac{1000}{1500} = 66.7\%$ 。

但此时所消耗的能量除了用于纯外功之外，还用于基础代谢，维持姿势及其他附带动作等，即“空转”所消耗的能量。在计算机械效率中若将这部分能耗减掉，就为净效率。上例这部分能量假定是 500 J，则其净效率为 $\frac{1000}{1000} = 100\%$ 。在实际操作中，是否减掉“空转”所消耗的能量，可根据测定目的来确定。机械效率的高低随工作性质（动力性工作、静力性工作或是两者的混合）和个体差异而不同。通常认为，人的动力性工作的机械效率为 20%~30%，静力性工作的机械效率则较低；有氧为主的运动比无氧代谢为主的运动机械效率高。

(二) 训练对机械效率的影响。通过系统的训练，可使运动时的能量利用出现节省化，即在完成同样的运动负荷时，有训练者消耗的总热能减少，因而可提高工作效率。

长期训练可能使能量节省化的主要原因是，经过训练以后动作更协调自如，与动作无关的活动减少至最低程度，因而出现能量利用的节省化，机械效率提高；同时训练也提高了呼吸、循环系统的功能水平，使这些器官本身的工作效率提高。如完成较小强度的运动负荷时，有训练者比无训练者的心率较低，呼吸频率减小，因而心脏及呼吸器官消耗的能量也减少。

机械效率的提高在一些需要改善技术的活动中表现最为明

显，如优秀短跑运动员肌肉的机械效率可达 50%；即使是技术良好的运动员，通过训练也能提高机械效率。

思考题

试述能量代谢的测定原理及步骤。

试述影响能量代谢的因素有哪些？

试比较人体运动时三种能量系统的供能特点。

试述人体在不同活动状态下的供能情况。

试述能量连续统一体理论在体育实践中的运用。

名词解释：

食物的热价 呼吸商 基础代谢率 磷酸原系统

乳酸能系统 有氧氧化系统

呼出、吸入、排去、吃进心理暗示

运动员参加重大比赛时，强烈的情绪变化易使其产生怯场状态，即大脑皮质的控制系统陷入混乱状态，打乱了神经系统对各机能的控制，引起机能失调，使运动员不能发挥应有的水平。对此，笔者在多年运动实践中根据运动员怯场时的症状，采用了一些针对性的心理暗示，对稳定情绪，提高竞技水平有十分明显的效果。

一、呼出紧张之气

怯场时的最主要症状就是喉咙发堵，胸闷气短。许多运动员往往通过深呼吸或长叹气试图缓解这种不良反应。但在情绪没调整之前，这种症状很难消除。此时，可让运动员放慢呼吸节奏，把注意力引向呼气过程，然后对运动员暗示：呼气时，想象全身紧张随呼气离开身体，或者想象呼气时所有的紧张和不适就像穿着一件厚皮大衣滑落到地上一样。通过这种暗示，运动员把思想引向身体内部的感觉，可阻止外界信息的干扰，使情绪逐渐趋于平静。这样不仅能使呼吸变得轻松自如，而且全身也有一种轻松、有力的感觉。

二、吸入他人的能量

赛前,运动员大脑皮质高度兴奋,消耗能量过多,势必使其出现保护性抑制。当皮质对运动中枢的控制功能出现抑制状态时,具体表现是浑身无力,腿发软,有“身体在空中漂浮”的感觉。不少运动员常用拍打肌肉或加速跑、纵跳、俯卧撑等手段刺激肌肉,试图“找回”肌力。由于没解决根本问题(即大脑皮质的抑制状态),效果都不明显。此时,可采用“吸入他人的能量”的心理暗示方法,即让运动员定睛注视着某对手或观众片刻,想象他们是不断向外释放能量的个体。然后,有意识引向吸气过程,每次吸气时,想象自己全身汗毛孔张开,随吸气的同时通过全身汗毛孔将他们释放的能量吸入。这样,每次吸气都有一种“充电”的感觉,顿时会感到力量倍增。尤其是当“放能对象”爆发力或情绪冲动时,想象其能量释放更强烈,这种“充电”效果更佳。运用这种暗示主要能提高怯场运动员大脑皮质的兴奋性,使其产生一种积极的心理定势,体力自然就会恢复甚至超过原有水平。实践证明,非怯场运动员亦可将此作为一种积极的心理暗示,效果十分明显。

三、排去紧张之尿

运动员精神过度紧张时,大脑皮质兴奋性将产生扩散,破坏了其对植物性神经机能的调节支配功能,将造成神经性尿频现象,运动员老想去厕所,很难集中注意力。此时,可让运动员在排尿时进行暗示。想象:随着排尿,不安、迷惑、恐惧等不良感觉全部排出体外,排完尿后情绪会爽快、镇静起来。运动员在排完尿后,就会出现一种轻松愉快的感觉。这样的暗示使运动员尿频时的排尿反而成为一种轻松机体、灌注活力的积极性行为。一切不安的情绪自然会得到有效的缓解或消除。

四、吃进几片安慰剂

受新闻媒介的宣传,许多运动员都确信兴奋剂对提高机能水平能起到立竿见影的效果。鉴于这种情况,教练员可将安慰剂(毫无药性的“药”)说成某科研所研制的或进口的兴奋剂让运动员服用。运动员是因赛前过多考虑比赛而产生怯场的,此时服用安慰剂能让其把注意力引向自身机体兴奋感觉的体验,亦即使其产生机能水平提高的良好的自我暗示。这样,可阻断有关比赛信息对机体的干扰,从而起到消除怯场状态的作用。

但是,有一点要注意的就是一定要运动员自愿服用此安慰剂。因为有些运动员不知道兴奋剂对机体是有害的,如果强行让他服用,反而会引

起一些不良的自我暗示。

由于受比赛规模、重要性等影响过于强烈，也许有些运动员仍不能从考虑比赛结果的困境中解脱出来，此时教练员还可采用一些简单的生理指标测定等行为进行暗示。比如，用“切脉”的方法测定片刻后，较为神秘地告诉怯场运动员：此时“药物”已起作用，机体已进入兴奋状态，但一定要控制住兴奋的情绪，否则会有人怀疑你用了兴奋剂，将引来麻烦。此时，这种神情和语言的暗示定会把怯场运动员的注意力引向自身机体的感觉，尽快地调动机体，消除怯场状态。实践证明，此方法对非怯场运动员的机体调动也非常奏效。

选自《中国学校体育》~~1985~~年第 远期

摇摇加拿大运动员本·约翰逊使用家喻户晓的“兴奋剂”成为世界性“丑闻”后，人们都很想知道，兴奋剂到底会对人体产生什么样的作用和影响？就让我们来揭开这体内含量极微但作用却极其重大的激素和随时随地调节着机体协调活动的内分泌系统的面纱吧。

第九章 内分泌系统

第一节 概述

一、内分泌腺及组织

内分泌细胞产生的具有高效活性的物质称激素。这些物质随血液循环到达一定的组织或细胞（激素作用的组织或细胞称为靶组织或靶细胞），发挥特有的生理效应。

内分泌细胞有的比较集中，形成腺体如甲状腺、肾上腺等，人体主要的内分泌腺有垂体、甲状腺、甲状旁腺、胰岛、肾上腺和性腺等（图 9-1）；也有一些内分泌细胞比较分散，如消化管黏膜中存在不少的内分泌细胞，分泌胃泌素等胃肠激素；另外还有些细胞是兼有内分泌作用的细胞，如下丘脑的某些神经细胞可分泌肽类激素；肾脏能够分泌肾素和红细胞生成素；心脏能够分泌心钠素；胃肠道黏膜细胞能够分泌胃泌素、胰泌素等等。所以，内分泌系统是包括内分泌腺与分散存在于机体各处的内分泌细胞的一个大系统。

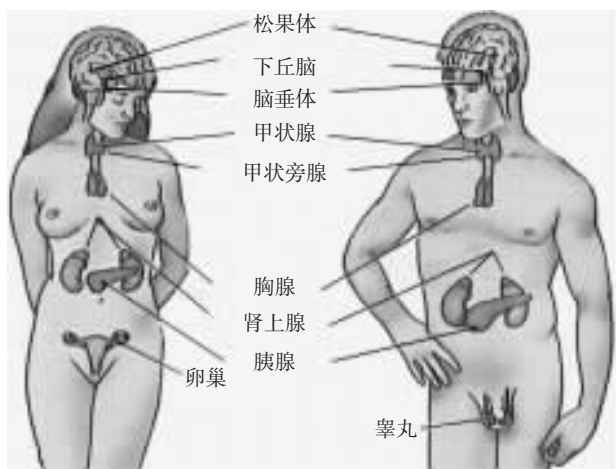


图 1-1 人体的内分泌腺

二、人体的激素

激素是高度分化的内分泌细胞合成并直接分泌入体液的化学信息物质，在生理浓度范围内（ 10^{-12} ~ 10^{-8} g/ml）作用于靶细胞，引起有效的生理效应。

人体各种内分泌腺和组织所分泌的激素有上百种（包括具有活性的代谢物），而且还在不断发现新的激素和激素样物质。下表列出数种重要的激素。

表 9-1 人体的主要激素及其作用

化学性质	激素	缩写	主要来源	靶细胞或组织	主要作用
胺类	甲状腺素	甲状腺素	甲状腺	多数体细胞	提高代谢,促进生长发育
	三碘甲状腺原氨酸	三碘甲状腺原氨酸			
	肾上腺素	肾上腺素			
	去甲肾上腺素	去甲肾上腺素	肾上腺髓质	多数体细胞	增强循环机能,促进糖原分解,升高血糖
	促甲状腺素释放激素	促甲状腺素释放激素			
	促性腺素释放激素	促性腺素释放激素	下丘脑	腺垂体	促甲状腺素分泌
	生长素释放抑制激素	生长素释放抑制激素			促性腺素分泌
	生长素释放激素	生长素释放激素			抑制生长素分泌
	促皮质素释放激素	促皮质素释放激素			促生长素分泌
	催乳素释放激素	催乳素释放激素			促催乳素分泌
	催乳素释放抑制激素	催乳素释放抑制激素			抑制催乳素分泌
	甲状旁腺素	甲状旁腺素	甲状旁腺	骨、肾、小肠	调节钙磷代谢、升高血钙
	降钙素	降钙素	甲状腺C细胞	骨、肾	调节钙磷代谢、降低血钙
肽类和蛋白质	胰岛素		胰岛β细胞	多数体细胞	影响糖、蛋白质、脂肪代谢,降低血糖
	胰高血糖素		胰岛α细胞	肝脏	促进糖异生和糖原分解、升高血糖
	生长素	生长素	腺垂体	多数体细胞	促进生长
	促甲状腺素	促甲状腺素		甲状腺	促进甲状腺分泌
	促肾上腺皮质激素	促肾上腺皮质激素		肾上腺皮质	促进糖皮质激素分泌
	卵泡刺激素	卵泡刺激素		性腺	促进卵泡发育、精子形成
	黄体生成素	黄体生成素			促进黄体形成、睾丸间质细胞发育分泌雄激素
	催乳素	催乳素		乳腺	促进泌乳
	催产素	催产素	神经垂体	子宫、乳腺	促子宫收缩和乳腺泌乳
	抗利尿激素	抗利尿激素		肾脏	促进肾脏集合管对水的重吸收

(续表)

化学性质	激素	缩写	主要来源	靶细胞或组织	主要作用
类固醇	睾丸酮	辜	睾丸	多数体细胞	促进男性性征的发育成熟和维持
	雌二醇	雌	卵巢、胎盘	多数体细胞	促进女性附性器官的发育成熟和副性征出现
	孕酮	孕	黄体、胎盘	子宫、乳腺	维持子宫内膜和妊娠、刺激乳腺腺泡发育
	糖皮质激素	甾	肾上腺皮质	多数体细胞	升高血糖、动员供能物质,参与应激反应
	盐皮质激素		肾上腺皮质	肾小管	促进肾小管对钠的重吸收,影响水盐代谢
脂肪酸衍生物	前列腺素	PG	全身各部	多数组织和细胞	主要在局部发挥作用

三、激素的一般作用及特点

激素的一般生理作用大致可归纳成以下几个方面：（员 直接或间接地加速（刺激）或减弱（抑制）体内原有的代谢过程。（圆 调节和控制机体的生长、发育和生殖机能。（猿 维持内环境平衡，调节营养素、电解质和水分在体内的分布。（源 增强机体对有害刺激和环境条件急剧变化的抵抗和适应能力。

体内激素的种类虽然很多，化学结构各不相同，但它们在作用上却具有某些共同特点：

一、激素的信息传递作用

激素是生理调节物质，只影响靶细胞的功能或物质代谢的强度和速度，它不产生新的功能或反应，也不为功能提供能量。体内的激素对器官、组织、细胞的作用，只是使它们原有的功能加强或减弱，而不能使该器官或组织出现原先没有的活动。这一特

点也被称为“无始动作用”。

一、激素作用的高效性

激素在血液中的生理浓度很低，但对机体代谢和功能的影响却很大。随着激素测定技术的发展，现在对绝大多数激素的血液浓度都能进行定量分析，计量单位可以到纳克（ 10^{-9} 克）和皮克（ 10^{-12} 克）一级。如此微量的激素却可以使细胞内的生化反应发生显著变化，并由此表现出对机体机能和代谢的重大影响。因此人们认为激素的化学作用可以和“催化剂”相比拟。

二、激素的作用具有一定的特异性

所有内分泌组织所分泌的激素都随着血液循环于全身，与身体的细胞有所接触，但是不同的组织对不同的激素反应截然不同。也就是说机体大多数的激素只对特定的组织细胞起作用，这些只对特定激素起反应的细胞或器官就称为该激素的靶细胞或靶器官。

三、激素的分泌具有特定的节律性

激素在体内不断地进行着降解或清除过程，因此激素的分泌及其体内浓度发生着周期性的波动，处于动态的平衡之中。

四、激素分泌的调节

一、神经系统调节

当机体内外环境发生变化时，中枢神经系统可接受各种信息，并通过下丘脑影响腺垂体及其靶腺的活动（图 9-1），使机体对环境的适应更趋完善。如剧烈运动时，经下丘脑—垂体—肾上腺皮质轴使肾上腺皮质激素分泌增加，使其在机体运动应激中发挥重要的生理作用。

体内一些内分泌腺直接或间接地接受神经系统的支配，如肾上腺髓质接受自主神经系统中交感神经节前纤维支配。也有一些

内分泌腺接受交感神经和副交感神经节后纤维的支配，如胰岛素、胰高血糖素、促胃液素的分泌就受交感神经和迷走神经兴奋的影响。

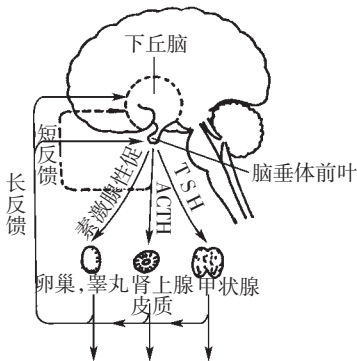


图 10-10 下丘脑—垂体—靶细胞的反馈调节

图 10-11 激素分泌的反馈调节

当一个信号引起某一激素分泌时，产生激素的内分泌细胞同时也将收到靶细胞及血中该激素浓度的信号而调节其分泌量。如血中甲状腺浓度过高，反过来将减少甲状腺细胞对甲状腺素的分泌。

第二节 人体主要激素的作用

一、生长激素 (GH)

生长激素由腺垂体分泌，其主要生物学作用表现为：

图 10-12 对生长的作用

生长激素有促进生长的作用，主要促进骨骼和肌肉的生长，但对脑的生长发育无影响。人在幼年时期缺乏生长激素，会因生

长迟缓、身材矮小而患侏儒症；如果分泌过多，则身材过于高大导致巨人症。成年后生长激素分泌过多，产生肢端肥大症，出现肢端骨、面部骨增生，同时内脏器官也增大。

对代谢的作用

生长激素可促进蛋白质合成，减少蛋白质分解，促进脂肪动员和分解利用。生理水平的生长激素可加强人体对葡萄糖的利用；过量的生长激素则抑制糖的利用，使血糖升高。

二、甲状腺激素

甲状腺激素由甲状腺腺泡上皮细胞合成和分泌，包括甲状腺素（四碘甲腺原氨酸）和三碘甲腺原氨酸。其主要作用：

对代谢的作用

增加组织耗氧量和产热量，使基础代谢率增高。

甲状腺激素对三大营养物质的作用主要是促进肝糖原分解和组织对糖的利用，对脂肪代谢主要表现为加速脂肪动员分解。蛋白质的代谢也与甲状腺激素的剂量有关，适量的甲状腺激素可促进蛋白质合成，但当甲状腺激素分泌过多时则促进蛋白质分解。

维持机体正常生长发育

甲状腺激素是维持机体正常生长发育必不可少的激素，其主要是促进脑和长骨的生长发育。婴幼儿甲状腺机能减退，会出现智力迟钝、长骨生长停滞等为主要症状的呆小病。反之，甲亢患者则表现为反射活动增强、心理活动加快、急躁易怒、烦躁不安和失眠等兴奋的症状。

对神经系统的作用

甲状腺激素能提高中枢神经系统的兴奋性，对保持成年人的神经系统正常功能有显著的意义。

三、肾上腺激素

肾上腺由皮质和髓质两部分组成。肾上腺皮质是腺垂体的靶腺，主要分泌糖皮质激素、盐皮质激素和少量性激素。肾上腺髓质受交感神经节前纤维直接支配，当交感神经兴奋时，肾上腺髓质激素分泌增加。肾上腺髓质合成和分泌的激素包括肾上腺素和去甲肾上腺素，它们统称为儿茶酚胺。

糖皮质激素

人体内的糖皮质激素主要是皮质醇。它的生物学作用非常广泛且复杂，对物质代谢、循环系统、神经系统、血细胞、肌肉等都有影响，还能够抗炎症及参与机体的应激反应。

(员 对物质代谢的作用。糖皮质激素能使糖异生增强，减少机体组织对糖的利用，使血糖升高。能促进蛋白质分解，抑制蛋白质合成。糖皮质激素对不同部位的脂肪作用不同，使四肢脂肪分解加强，面部和躯干合成增加（肾上腺皮质机能亢进或用糖皮质激素药物过度，会出现面圆、背厚而四肢消瘦的“向心性肥胖”现象）。

(圆 在应激反应中的作用。人体在某些情况下，如创伤、手术、冷冻、饥饿、疼痛、感染、惊恐和剧烈运动等，下丘脑—腺垂体—肾上腺皮质轴的活动加强，糖皮质激素分泌增多，这一反应称为应激反应。引起应激反应的刺激称应激刺激或应激原。剧烈运动对人体来说就是一种应激刺激，运动引起的应激称运动应激。应激时，糖皮质激素的分泌增加，增强了机体对有害刺激的抵抗能力，对维持生存起重要作用。

儿茶酚胺激素

(员 对代谢的作用。调节大多数组织中的糖、脂肪、蛋白质代谢，其中最重要的是调节肝、脂肪组织和骨骼肌分解代谢。儿茶酚胺促进肝糖原分解变成葡萄糖，使血糖升高；促进肌糖原

分解，为肌肉活动提供更多的能量；促进脂肪分解。

（四）对各器官的作用。儿茶酚胺可提高中枢神经系统兴奋性，使机体警觉性提高，反应变灵敏。作用于心脏，使心率加快，心收缩力增强，心输出量增多，血压升高；可使支气管、消化管的平滑肌舒张。

（五）在应急反应中的作用。当机体受到应激刺激时，不仅产生应激反应，而且此时，交感—肾上腺髓质系统的活动也增强，肾上腺髓质释放大量的儿茶酚胺入血，并作用于各器官，产生一系列生理效应。机体在应付环境突变时，通过交感—肾上腺髓质系统发生的反应称为应急反应。两种反应相辅相成，共同提高机体对环境的适应能力。

四、胰岛激素

胰腺的内分泌部分称为胰岛。胰岛内的 α 细胞分泌胰高血糖素， β 细胞分泌胰岛素。两者共同作用维持着正常的血糖水平。

（一）胰岛素

胰岛素是促进合成代谢、贮存营养物质的激素。它对代谢的调节主要是促进全身组织对葡萄糖的利用，从而使血糖水平下降。如果胰岛素分泌不足，血糖浓度升高，将引起糖尿病。胰岛素促进脂肪和蛋白质的合成。对于机体生长来说，胰岛素和生长素同等重要，缺一不可。胰岛素对物质代谢总的的作用，就是促使这些代谢性营养物质以不同形式储存起来。因此胰岛素也被称为“储存激素”，它的靶器官主要是肝脏、脂肪组织和骨骼肌，在它的作用下，人体摄入的三大营养物质主要储存在这三种组织中。

（二）胰高血糖素

胰高血糖素是促进分解代谢，动员营养物质的激素。它对

糖、脂肪和蛋白质的作用与胰岛素的作用相反。胰高血糖素能促进糖原分解和糖异生作用，使血糖明显升高。可使蛋白质分解增加以及合成减少。胰高血糖素还能促进脂肪分解，抑制脂肪酸的合成，使血液游离脂肪酸增多；还可使蛋白质分解增加和合成下降；能增强心肌收缩力，加快心率，使心输出量增加。

五、雄激素

雄激素的生物学作用

睾酮是睾丸的间质细胞分泌的雄激素，它的主要作用是刺激雄性附性器官的发育并维持其功能，刺激雄性副性征的出现并维持它们的正常状态，促进精子的成熟。此外，它们还有以下一些作用：

(一) 对代谢的作用。促进蛋白质合成，尤其是促进骨和肌肉蛋白质合成，促进骨生长和钙磷沉积，还能刺激红细胞的生成，使机体更加强壮、有力。

(二) 对神经系统的作用。睾酮作用于大脑和下丘脑，引起性行为 and 促进性激素分泌的改变，使机体对应激的抵抗力增强和更富于“攻击性”。

滥用雄激素成类固醇对人体的危害

睾酮及其衍生物合称雄激素成类固醇，是国际奥委会禁止使用的“兴奋剂”。由于它能增强肌肉的力量，增加血液的载氧能力，提高耐力等，因而在竞赛中，一些运动员试图采用雄激素成类固醇来达到提高运动成绩的目的。有关的研究表明，正常的男子在服用睾酮等雄性类固醇激素的同时进行力量训练，并结合高蛋白饮食，与单纯进行力量训练相比，可以看到超常的力量增长和肌肉肥大。但是，长期滥用雄激素成类固醇，也会产生一系列严重的副作用和毒性反应，如干扰下丘脑—垂体—性腺轴的调节，导致肝脏损害，引起脂肪代谢异常而诱发动脉粥样硬化和冠

心病，在使力量超常增长的同时却降低肌肉和韧带的弹性而使运动损伤的发生机率增加以及对运动员的副性征造成影响，还会使女性表现出男性化性征、月经紊乱等问题。

六、雌激素

卵巢是女性的性腺，它既是卵子发育成熟的场所，又具有内分泌功能。卵巢合成的激素主要有雌激素（妊、孕激素（孕和少量的雄激素（栽 等。

雌激素的生理作用

（员 促使女性生殖器官的发育并维持其正常机能，促进女子第二性征的出现，女性生殖道是雌激素的主要靶器官。在雌激素的作用下，子宫内膜增生变厚，子宫腺组织增生，输卵管活动增强，阴道上皮细胞增生、角化。雌激素促使乳房发育和脂肪沉积，使骨骼生长骨盆宽大，皮下脂肪丰满，形成女性体型。

（圆 参与机体代谢。雌激素具有增强葡萄糖刺激胰岛素分泌的反应，使血浆胰岛素水平升高；促进胆固醇降解、排泄，降低血胆固醇和脂蛋白水平，降低动脉硬化的发生率；增加蛋白合成，刺激成骨细胞生长，促进骨内钙、磷沉积以维持正常骨质等方面的作用。

孕激素的生理作用

卵子成熟后卵泡破裂，卵子从卵巢排出，残余泡形成黄体，分泌孕激素。孕激素使子宫内膜进一步增生肥厚，血管扩张，为受精卵在子宫内着床做准备。在雌激素和孕激素的作用下，子宫内膜出现周期的性变化，形成月经周期。

女子月经周期

月经是子宫内膜脱落的结果。子宫内膜周期性脱落受卵巢性激素的作用，一般把月经周期分为三期：

（员 增殖期。上次月经结束后，卵巢内新的卵泡发育并逐

渐成熟，不断分泌雌激素。在雌激素的刺激下，子宫内膜增厚，腺体增生。这种变化持续到卵泡成熟，卵子排出为止，约 14 天。

(圆) 分泌期。排卵后黄体形成，雌、孕激素共同作用于子宫内膜，使之继续增厚，膜内腺体弯曲、扩张，出现明显分泌。这种变化一直持续到子宫内膜增生至最大限度。若卵细胞未受精，则黄体萎缩，停止分泌孕激素。子宫内膜得不到雌激素和孕激素的支持，出现坏死、破溃，脱落出血。此期约持续 14 天。

(猿) 月经期。脱落的子宫内膜、出血以及腺体分泌的黏液等经阴道流出体外，形成月经。一般人约持续 猿~ 源天。女子发育过程中的第一次月经称初潮，我国女性初潮年龄平均 15 岁，多在 14~ 16 岁，并有提前趋势。

雌激素主要由卵巢所分泌，其他组织和黄体也能产生。雌激素的主要生理作用是促进女性附属生殖器官的发育，并维持其正常机能，如促进子宫内膜出现增生变厚、腺组织增生等典型增殖期的变化；使阴道上皮增生和输卵管活动加强等。雌激素促进乳腺腺管发育及脂肪沉积，促进骨骼生长，骨盆宽大，脂肪分布于臀、股部，形成女性的第二性征。

另外，雌激素对代谢也有一定的影响。如增加蛋白质合成，刺激成骨细胞生长、促进骨骼内钙和磷沉积以维持正常骨质，以及影响胆固醇代谢等。

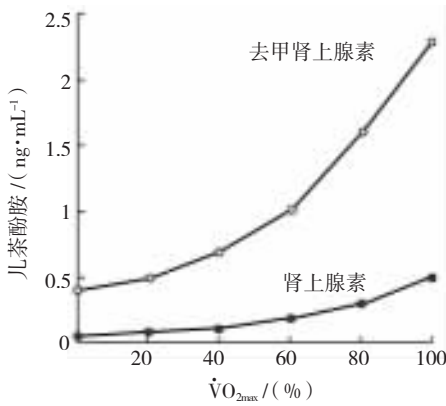
第三节 运动对人体运动对内分泌机能的影响

一、运动时的激素变化

运动中许多激素的水平均发生变化，其变化程度与运动强度和运动持续时间有关。将运动时血浆中各种激素含量变化的快慢分为三类：(1) 快反应类激素。在运动开始后的即刻，血浆中

该类激素明显升高，并在短时间内达到峰值，如肾上腺素、去甲肾上腺素、皮质醇等。（圆 中间反应类激素。运动开始后，血浆中该类激素缓慢、平稳地升高，在几分钟内达到峰值，如甲状腺素、醛固酮等。（猿 慢反应类激素。运动开始后，血浆中该类激素并不立即出现变化，当运动至猿园-源园皂蚤时才缓慢增加，在更晚的时间内才达到峰值，如胰岛素、胰高血糖素、生长激素等。

运动中许多激素浓度的变化随运动强度的增加发生相应的改变。一般认为，中等强度运动时，血浆儿茶酚胺浓度无明显变化。当运动强度≥源园豫灾韵时，血浆儿茶酚胺浓度随着运动强度的增大而增大（图怨-猿。此外，糖皮质激素、生长激素、胰高血糖素等也随运动强度的增加而增加。然而，在进行递增负荷运动时，当运动强度超过缘园豫灾韵时，随运动强度的增大和运动持续时间的延长，胰岛素浓度逐渐下降（图怨-源。有关辜酮对运动的反应报道不一。一般认为，短时间高强度运动后血浆辜酮浓度升高，长时间运动后辜酮生成则又受到抑制。



图怨-猿 运动强度对血浆儿茶酚胺的影响

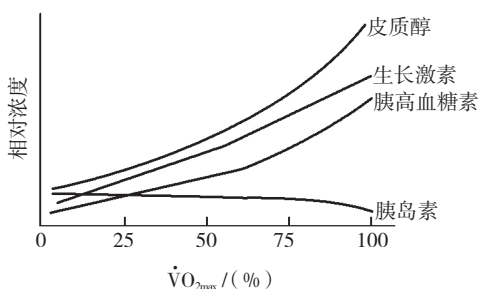


图 4-1 运动强度对皮质醇、生长激素、胰高血糖素、胰岛素的影响

二、运动时主要的激素反应及其意义

儿茶酚胺

血浆中去甲肾上腺素（ NE ）主要来自交感神经末梢释放的神经递质，肾上腺髓质也有少量释放。肾上腺素（ E ）主要由肾上腺髓质分泌。 NE 和 E 又统称儿茶酚胺。

在剧烈肌肉运动的瞬间，血浆去甲肾上腺素即升高，随之血浆肾上腺素的含量也升高，但幅度小于去甲肾上腺素。

肌肉运动时血液肾上腺素和去甲肾上腺素的反应与运动强度和训练水平有关。随着运动强度的加大，血浆儿茶酚胺浓度的升高也越明显。儿茶酚胺的含量与肌肉在运动时的工作能力有关。去甲肾上腺素与肾上腺素促进糖原分解，从而使肌肉工作能力增强。运动训练可以使血浆儿茶酚胺反应减弱，未经过运动训练者和经过训练者相比较，在较低的相对负荷水平进行运动时即出现血浆儿茶酚胺浓度的增加。但训练有素者进行力竭性运动时，血浆儿茶酚胺浓度升高的最大值比未经训练者要大，尤其是最大摄氧量和最大工作效率很高的人，血浆的儿茶酚胺浓度可升到最大值。经过训练后，儿茶酚胺反应的减弱，可能有利于节省肌糖原，推迟肌肉衰竭的到来。

胰高血糖素和胰岛素

肌肉运动时血中胰岛素含量减少，胰高血糖素含量增多。研究表明，运动时体内胰岛素水平的下降程度与运动强度和运动持续时间相关。大强度的运动可使胰岛素水平在较短时间内即出现下降；而体内胰岛素水平的大幅度降低常出现在圆疲乏力竭性运动后，甚至可以降低到静息水平的一半以下。在运动结束后或更久，胰岛素水平恢复至正常。

运动中胰高血糖素的变化同样与运动强度和持续时间密切相关。短时间静力性运动血浆胰高血糖素浓度不变，短时间动力性运动其浓度会有所下降；长时间的运动引起血浆胰高血糖素浓度出现明显的增加，多数情况下在运动末期达到最大值。

关于运动中胰岛素减少而胰高血糖素增多的机制，目前认为与运动时血糖含量关系较为密切。实验证明，在运动前或运动中补给一定量的葡萄糖能够有效抑制运动中胰高血糖素含量的增加。机体依靠这两种激素的调节，能够保证在大多数的运动中血糖不致出现明显降低。

运动训练可以使人或动物静息时的血浆胰岛素含量降低，运动时胰岛素降低的幅度变小，而胰高血糖素增加的幅度也减小。机体产生这种适应的生物学意义在于推迟肝糖原的排空，保持血糖的恒定，使长时间运动中中枢神经系统（特别是大脑）的能量物质的供应得到保证。

糖皮质激素

运动中糖皮质激素的变化比较复杂。目前认为，运动强度是引起体内糖皮质激素升高的强度阈，强度在该阈值以下的长时间运动导致血浆糖皮质激素浓度出现降低。而大强度运动引起血浆糖皮质激素浓度的升高是肯定的，与运动强度相比，运动持续时间对糖皮质激素含量的影响更为显著。即使在低于阈强度的条件下，超长时间的运动也会使血浆糖皮质激素浓度

增加。在对比 100m 跑、400m 跑、800m 跑、1500m 跑和马拉松赛跑后的血浆糖皮质激素浓度后发现，运动时间越长，糖皮质激素的升高就越显著，而以马拉松跑后为最高。所以，运动时体内糖皮质激素含量的变化是运动强度和运动持续时间共同影响的结果。

运动训练可以改变运动时垂体—肾上腺皮质系统的反应性，而以耐力训练最为有效，其作用大于速度和力量训练。可能的原因是耐力训练最易提高机体的最大摄氧量，从而使引起糖皮质激素浓度增加的阈强度得以提高。

生长激素

肌肉运动时血浆生长激素含量的升高取决于运动持续时间和运动强度。一般认为运动引起生长激素的分泌增加也存在一个强度阈，该阈值在 100m 跑 ~ 400m 跑的运动强度范围内。小于该强度的运动生长激素水平变化不大，但强度过大（接近 1000m 跑的水平）反而导致生长激素水平出现下降。研究发现，就运动引起血浆生长激素增加的最大值来说，运动持续时间比运动强度的作用更加重要。

研究表明，运动引起血浆生长激素含量增加的机制可能有以下几个因素：首先，精神应激的作用；其次，血液温度的升高对下丘脑的直接刺激。另外，无氧代谢的产物乳酸能够促进生长激素释放；而低血糖也是强有力的促进生长激素释放的因素。运动时血浆生长激素含量增加，其生物学意义可能在于抑制糖的利用，动员和加强脂肪的利用，使运动中的能量供应逐渐转向依靠脂肪来提供。

甲状腺激素

大多数的研究表明，急性运动后血浆甲状腺素的浓度增加，运动过程中甲状腺素的适当升高，可能有利于能源物质的分解。通过直接测定甲状腺素浓度以及测定基础代谢水平等方法，证明

长期的运动训练对甲状腺分泌活动的影响不大；但运动使甲状腺素的半衰期缩短，周转率加快，因此运动训练中甲状腺的分泌事实上必须有所加强才能维持血浆甲状腺素浓度的稳定。

圆 雌性激素

研究表明，中等强度、持续时间不太长的运动可使睾酮明显升高，而长时间力竭性运动则使血浆睾酮浓度降低。

运动训练也能够对雄激素的分泌产生影响。通过对运动员和普通人在安静状态下的血液睾酮含量进行对比研究，大多数的结果都显示运动员的血清睾酮值显著高于正常人，男子和女子均是如此。安静状态下运动员的睾酮值高于正常人，尚未能排除遗传因素的影响。另外，有研究表明，运动训练对雄激素影响的主要特点是促使男性成人在再运动时的雄激素反应增大，血浆睾酮的增加更为显著，甚至可使老年人本已偏低的雄激素分泌增强。

体内雄激素的水平与运动能力有着密切的相关性。研究显示，取得优异运动成绩的运动员血清睾酮水平都比较高。在身体机能状态良好的情况下进行训练，血清睾酮水平变化不大，并有体能增强伴随着睾酮含量增加的趋势；但在身体机能状态不良或过度训练时，体内睾酮水平则会下降。因此，有人认为可以将体内睾酮水平的变化作为检查评定运动员机能状态的指标。

雄激素在运动中所起的积极作用主要有以下几方面：（员）雄激素对抗糖皮质激素促使蛋白质降解的作用，减少以氨基酸作为糖异生作用的底物，保存体内的蛋白质；（圆）易化氨基酸进入肌细胞，结合高蛋白饮食，有利于蛋白质合成，使肌肉发生适应性变化；（猿）减少糖皮质激素的糖原分解作用，促进机体储存糖原，增加肌糖原合成和运动后肌糖原的超量恢复；（源）是机体运动适应的一个标志，表明对运动应激的抵抗力增强。

摇摇思考题

圆解释名词：

圆内分泌腺摇激素摇靶细胞摇应激

圆人体有哪些主要的内分泌腺？各分泌什么主要的激素？激素的作用有何特征？

圆试述神经系统和内分泌系统是如何密切联系进而调节机体功能的。

圆简述糖皮质激素、儿茶酚胺、生长激素对代谢的作用。

圆为什么雄性激素常被运动员作为兴奋剂使用？

圆试述女子月经周期的成因。

圆试述运动应激时体内激素的调节。

肌肉的神经激活强力法

一、言语暗示法

言语暗示的强力手段，主要是通过第二信号系统——对受暗示者的生理和心理起积极的调节作用。亦即通过积极、良好的言语暗示，使受暗示者产生高昂的斗志、充沛的精力及坚定的取胜志向等“增力情绪”。在这种增力情绪的积极影响下，中枢神经系统的调节支配机能将得到更好的发挥，大脑皮质的自我保护性的心理机能负作用将得到削弱，从而充分调动体内的潜力，使力量倍增。

比如：跑，跑，继续前进；努力，努力取胜；加油，加油，我能，我能；拚了，豁出去了；决不能让他赶上，不会再有明天，这是最后一次机会，坚持最后 圆译 或者用简单的诅咒语暗示，可能更能产生强大的力量。

二、吼叫法

在运动中，我们可常见一些运动员发力时都会情不自禁地大吼一声，尤其是那些爆发力较强的高水平运动员更是如此。这种吼声可明显增强肌力的原因有二：圆吼叫时由于腹肌和膈肌的强烈收缩，使胸、腹内压骤增，为附着在胸腔和骨盆的肌肉收缩提供巩固的支撑条件，从而增加肌肉的收缩效果。圆吼叫可使大脑皮层兴奋性暂时提高。在皮质中产生的兴奋，能使其自我保护性的抑制作用受到抑制，从而使神经细胞活跃起来，

使力量的潜力得到挖掘。

三、利用后效作用法

美国著名生理学家乔奇·布茹克司提出：肌肉力量的大小由用力时肌纤维数目动员的多少所决定，而肌纤维的动员通常不是靠主观意识，不是靠运动速度，而是靠用力时所需克服的阻力所决定的。因此，为了保证最大限度地激活更多的肌纤维，就必须在用力前努力动员更多的肌纤维参与工作。适宜的准备活动便是其中一种形式。后效作用法，就是利用负重而获得的后效作用来增强用力效果的。比如：推铅球之前先举几次较重的杠铃或投几次加重器械；立定跳远之前先做几次负重半蹲。这样可获得重量减轻后的后效作用。因为最大负荷用力时，为了动员更多的肌纤维参与工作，大脑皮质运动中枢将发放强而集中的高频率神经冲动，并由此产生“强烈用力的痕迹”在这一痕迹没完全消失的随后的动作练习过程中，仍保持强烈用力的运动指令，使接下来的用力获得强大的动力势能。

当然，在利用后效作用时还应注意：由于痕迹效应会随着时间的延长而衰减，所以最大负荷用力与接下来的用力间隔时间尽可能不要太长（最好不要超过 5 分钟）。用力前的最大负荷应与随后的动作结构一致，负荷重量应以不破坏动作结构为宜，否则前面的负重难以起到“惯性”作用。用力前的最大负荷练习次数不宜太多（一般 1~3 次），否则将引起肌肉疲劳，影响强力效果。

四、肌肉收缩前的快速牵拉法

生理学研究表明：肌肉在收缩前处于某种牵拉，能提高收缩效果。有人进一步研究证明：肌肉受到的快速牵拉比受缓慢牵拉产生的力量大，受牵拉后立即收缩比停些时间再收缩产生的力量大。这是因为肌梭是一个按比例积分的敏感器，肌肉收缩前受到的快速牵拉对其刺激比受缓慢牵拉的刺激更大，能使其对快速牵拉作出特别强烈的反应，加上大脑皮质的用力意识的刺激，可累计成更强烈的神经冲动，动员更多的肌纤维参与工作，强力效果自然就会更好。如果牵拉后停些时间再收缩，神经冲动的“累计效果”将下降，就很难达到强力的目的。

因此，在运动实践中，立定跳远起跳时，快速预蹲后立即起跳的效果优于缓慢预蹲的起跳；投掷最后用力中的“抬头挺胸”动作若改为“抬头急挺胸”发力效果亦将会更佳。

五、硬气功法

众所周知，硬气功师运足气后能产生爆发力极强的冲击力，此力竟能一举撞断石板、折断铁棍、劈开鹅卵石。根据研究，如此神力都是内练一口气、外练筋骨皮的有机结合。他们通过长期的吸气、吞气、闭气、喷气和崩气等特定的呼吸方式并配以身体外部的负重排打或击物等一系列的动作训练，不仅能使肌肉的神经激活能力大大提高，还可使体内劲力在意识的指导下强有力地集中，并使这股强大的劲力从身体某一部分向外爆发出来，产生极大的冲击力或承受巨大的压力以及忍受住尖锐锋利的刺激。此强力法是一种特殊的肌力训练，与传统的肌肉力量训练方法和强力机制有很大区别。

选自《体育科学》1995年第 5 期

摇摇感觉和运动是动物维系个体生存、适应环境的基本功能之一。人们能看到、听到和体会到内外环境的变化；人们能做出手工编织毛衣、踢球、准确地运球、投篮等肢体动作，其操纵调节是怎样进行的呢？本章将从感觉器官的感受过程以及中枢神经系统的低级部位到高级部位逐一介绍其基本运动调节功能。

第十章摇感觉和运动的神经控制

神经系统对躯体运动的控制功能是通过反射来实现的。反射活动是从感觉开始，以肌肉活动而告终。

第一节摇感摇摇觉

人的感觉分为视觉、动觉、听觉、触觉，感觉是客观事物在人脑中的主观反映，客观事物作用于人的感觉器官后，感觉器官就产生神经冲动，经过传入途径到达大脑皮质而产生感觉。故感觉是由感觉器官、传入途径及大脑皮质三个部分的功能共同完成的。

一、感觉的形成概述

感觉的形成是通过一系列复杂的生理过程才得以实现的。大体可分为三个阶段：内外环境变化的信息（刺激）被相应的感受器所感受并将各种形式的刺激能量（机械能、热能、光能和化学能）转换为电信号；将电信号以神经冲动的形式经相应的传入神经传到中枢神经系统；在大脑皮层一定中枢形成相应的一

定感觉。

感受器与感觉器官

感受器是指能接受内外环境变化刺激，将刺激能量转化为神经冲动而发生兴奋的一些特殊结构。感受器可分为外感受器和内感受器两类。外感受器是指分布于体表眼、耳、鼻、舌、皮肤部位，分别感受光、声、化学、温度、机械等外界环境刺激的感受性装置。它是人体与外界环境直接接触和联系的部分，将外界事物反映到大脑中来，可引起主观上清晰的感觉；内感受器是指位于身体内部肌肉、肌腱、关节、内脏、血管部位，分别感受身体的运动刺激、身体内部压力和化学成分的变化感受性装置。身体接受内环境变化刺激的感受器，常常引起不清晰的主观感觉，可调节机体活动和机体内环境的动态平衡。通常可将感觉分为特殊感觉（视觉、位觉、听觉、味觉、嗅觉）、躯体感觉（触觉、压觉、本体感觉、振动感觉）和内脏感觉（压力、疼痛、温度）。

感觉器官是指感受器连同它的附属结构一起，构成较复杂的器官，它包括眼、耳、前庭等器官。

感受器的一般生理特征

虽然各种感受器各有其结构和功能的特殊性，但它们具有以下一些共同的生理特征。

（一）适宜刺激

各种感受器都有其最敏感的刺激强度，这种刺激强度就是该感受器的适宜刺激。如一定波长的电磁波，是感光细胞的适宜刺激；一定频率的机械振动，是耳蜗毛细胞的适宜刺激。能引起感觉的最小刺激强度，称为感觉阈值。对任何感受器来说，适宜刺激并非其唯一的刺激，如对大多数的感受器而言，电刺激都能成为有效刺激。

（二）换能作用

各种感受器都能将作用于它的各种刺激转变为相应的传入神

经纤维上的动作电位，这种作用称为感受器的换能作用，感受器也因此被看成是特殊的“生物换能器”。

猿 感觉编码作用

感受器在把不同形式的刺激转变为神经动作电位的同时，还将刺激所包含的环境变化信息也转移到动作电位的特定排列组合之中，这一作用称为感觉编码作用。人的各种主观感觉的产生正是各感觉中枢通过感受器的编码作用进行分析综合而获得的。但实际上这是一个非常复杂的活动，但感受器如何将刺激的质和量编码在神经动作电位中，目前尚未完全清楚，还有待进一步的研究。

猿 适应现象

当一定强度的刺激作用于感受器时，其感觉神经产生的动作电位频率将随刺激作用时间的延长而逐渐减少，这种现象称为感受器的适应。这种现象出现的速度因感受器的不同而不同，感受器适应的速度快慢有不同的生理意义。如皮肤触觉、嗅觉感受器的感觉适应过程快，这有利于感受器和神经中枢再接受新异刺激；而痛觉感受器、颈动脉窦压力感受器、肌梭等受刺激时，适应过程缓慢，这有利于机体对刺激（如血压、姿势等）反应做经常性的调节。

猿 中枢神经系统的感觉传导功能

猿 脊髓的感觉传导功能

脊髓由猿个节段组成，每一节段发出一对脊神经与外周神经联系。它不仅是中枢的初级部位，而且是感觉的传导路径。来自各种感受器的神经冲动，大部分经脊神经后根进入脊髓，然后分别经各上行传导路径到达大脑皮层。可分为两大类：一类为浅感觉传导路径，另一类为深感觉传导路径。浅感觉传导路径传导痛觉、温度觉和轻触觉，深感觉传导路径传导肌肉本体感觉、深部压觉和皮肤触觉中的辨别觉。浅感觉传导路径是先交叉再上行，而深感觉传导路径是先上行再交叉。

（圆 丘脑及其投射系统

丘脑不仅是感觉的较高级部位，可以进行粗糙的分析与综合，而且又是感觉传导的换元接替站。体内各种感觉传入（除嗅觉外）的上行传导都在丘脑更换神经元，然后再向大脑皮层投射。根据丘脑向大脑皮层投射的特征和作用可分为特异投射系统和非特异投射系统。

①特异投射系统。从有机体各感受器传入的神经冲动，进入中枢神经系统觉外，都要通过丘脑交换神经元，再由丘脑发出特异性投射纤维，到达大脑皮层的相应区域，引起特异的感觉称为特异性传入系统。它主要包括皮肤感觉、本体感觉、听觉、视觉、嗅觉与味觉传导道。它们的作用除引起相应的特异感觉外，还能激发大脑皮质发出传出冲动。

②非特异投射系统。特异性传入系统经过脑干时，发出侧支与脑干网状结构相联系。网状结构的神经元通过其短轴突多次更换神经元后，到达丘脑内侧部弥散地投射到大脑皮质的广泛区域，不产生特异性感觉，故称为非特异性传入系统。非特异性传入系统的上行冲动，虽不能单独激发大脑皮质产生特异感觉，但可维持大脑皮质的兴奋状态，对保持机体醒觉起着重要的作用。当这一传入系统上行冲动减少时，大脑皮质细胞就由兴奋转入抑制状态，这时机体表现为安静和睡眠。当这一传入系统损伤时，可导致昏睡不醒。

应当指出，要引起大脑产生感觉，必须是特异性传入系统和非特异性传入系统密切配合才能完成。正常情况下的感觉机能正是这两个传入系统机能相互配合的结果。

灞大脑皮层的感觉分析功能

大脑皮层是神经系统感觉分析机能的最高部位，传入的信息在此做最后的分析与综合，并产生相应的感觉。机体各种机能的最高中枢在大脑皮层上均有一定的代表区域，即大脑皮层不同区

域在机能上具有不同的分工，这称为大脑皮层的机能定位。根据大脑皮层的各层细胞大小、形状、密度与排列方式，可分为 17 个区，每一个区都用数字加以表示。不同性质的感觉在大脑皮层都有不同的代表区域。

二、视觉

眼是视觉器官，人脑所获得的全部信息绝大部分来自视觉，所以眼是人体最重要的感觉器官。视觉能感知物体的形状、色泽、远近和运动，有助于维持人体的平衡。眼的适宜刺激是波长在 380~760nm 的光波。外界的光线首先通过眼内折光系统折射后在视网膜上成像，然后再经视网膜上的感光细胞将来自物体的光刺激转变为电信号，经视神经、丘脑传向大脑皮层视觉区域分析处理，进而产生视觉。

眼的结构很复杂，从功能上可分为折光系统和感光系统。前者包括角膜、房水、晶状体和玻璃体；后者指视网膜（图 10-1）。

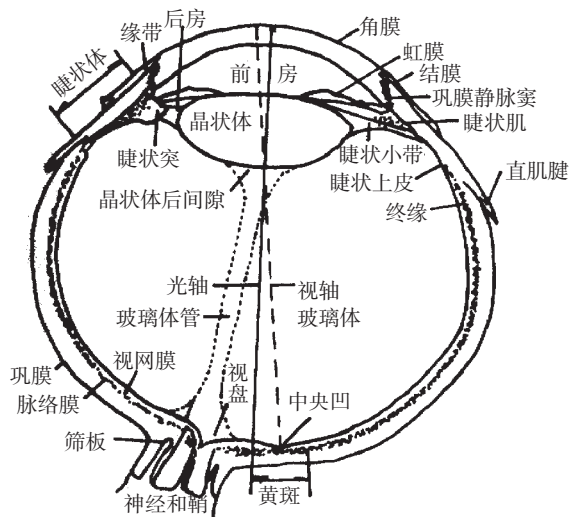


图 10-1 人眼的水平切面

视觉的形成

(员 折光

当光线由一种介质进入另一种折射率不同的单球面折光体时，只要不与折光体界面垂直，光线便会发生折射。外界射入眼内的光线，在到达视网膜之前，必须通过四个折光率不同的介质（角膜、房水、晶状体与玻璃体）的折射后，才能聚焦于视网膜上。

眼内物像的形成基本上同双凸透镜成像的原理相似，因此在视网膜上所形成的物像也是倒置的实像。它是经过大脑皮质的调整作用，使人产生正立的感觉。这种调整从婴儿时期起，就根据视觉和其他感觉特别是皮肤触觉，从认识周围各事物之间的关系而逐渐形成的。

(圆 感光

视网膜是眼的感光部分。人的视网膜上存在两种不同的感光细胞，即视锥细胞和视杆细胞。视锥细胞主要感受强光刺激，并能分辨颜色和物体的微细结构，故与白天或强光下视觉有关。视杆细胞主要是感受弱光（如星月之光）的刺激，对光的敏感性特别高，但不能分辨颜色和物体的微细结构，故与夜晚或暗光下视觉有关。

视网膜中视锥细胞与视杆细胞在空间上的分布是不均匀的，愈近视网膜中心部位视锥细胞愈多，而视杆细胞愈少；愈近视网膜周边部位则视锥细胞愈少而视杆细胞愈多；在黄斑中心的中央凹处全部是视锥细胞而无视杆细胞。与此相对应，在亮光下如眼正对着所观察的物体，入眼光线恰好投射到视网膜中央凹处，有最高的视敏度和色觉，能清晰地分辨物体的形态与颜色，如将物体置于眼的侧面，则视敏度将会大减。

感光细胞能接受光刺激，并把光能转化成神经冲动。因为它们含有能吸收光能的光敏物质，即感光色素，在光的作用下能发生一系列化学变化，称为光化学反应。与此同时，将光能转化为

猿 眼的调节

①晶状体的调节。人眼的折光调节功能主要由晶状体的曲率来实现。晶状体是呈双凸形富于弹性的组织。当看近物时，睫状肌反射性收缩，睫状体被拉前移，此时附在睫状体四周的悬韧带放松，晶状体由于自身弹性而向前、向后凸出，增加曲率，物像前移到视网膜上（图 5-4-10）。反之，当看远物时睫状肌放松，睫状体后移，悬韧带被拉紧，晶状体曲率减小，物像向后移到视网膜上。

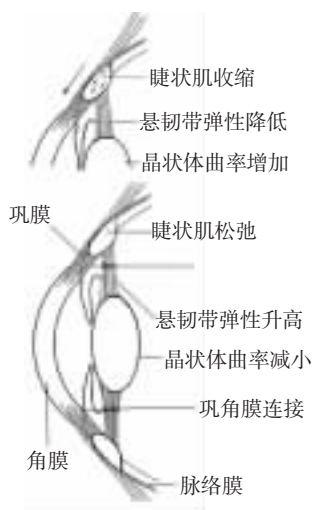


图 18-1-18 上图看近物时的调节，下图看远物时的调节

②瞳孔的调节。瞳孔大小的调节是通过中枢反射活动发生改变而调节进入眼内的光量，这种调节称为瞳孔调节。它具有保护视网膜，增加视觉清晰度的作用。瞳孔调节由两种反射进行：瞳孔对光反射和调节反射。

当强光时瞳孔缩小，可增加视觉的清晰度，同时保护眼不受强光刺激；当弱光时瞳孔放大以增加进光量而看清物体。对光反射的生理意义在于使进入眼内的光量保持相对恒定，并能快速适应急剧的光线变化。

视近物时，反射性地引起瞳孔缩小，视远物时则瞳孔扩大，这种反射称瞳孔的调节反射。在运动中情绪过度紧张可出现瞳孔扩大，如果过分扩大则会出现球面像差而影响动作的准确性。

③双眼会聚。视近物时，除有晶状体、瞳孔调节外，还出现两眼视轴向鼻侧会聚的现象。双眼会聚的生理意义是当视近物时，使物像仍能落在两眼视网膜的相应位置，增加视觉清晰度。

视觉功能的评价

在体育运动中，具有敏锐的视力、广阔的视野和良好的立体视觉，才能发挥其运动技术水平和提高运动成绩。因此，常采用视力、视野、立体视觉、眼肌平衡和闪光融合频率等生理指标，来评价运动员的视觉功能及训练水平。

(员 视力 (视敏度)

视力是指眼对物体细微结构的最大分辨能力，即分辨距离最小两点的能力，又称视敏度。视敏度可采用视力表进行检查。视力与中央凹处视锥细胞直径大小、视觉中枢分辨能力、眼的折光功能与光源情况及图形与背景的对比鲜明与否等因素有关。在体育运动中，只有具备良好的视力才能准确判断器械的空间位置、速度快慢、距离远近及其他运动员的动向与赛场情况，故是提高运动技术水平必不可少的条件之一。

(圆 视野

单眼注视正前方不动,此时该眼可能看到的整个空间范围,称为视野,它可反映整个视网膜的感光能力。正常人的视野范围大小受到面部结构的影响,鼻侧视野小于颞侧视野;不同颜色的视野不一致,白色视野最大,蓝色、黄色次之,再次为红色,绿色视野最小。视野大有助于扩大观察空间的范围和物体运动方位,从而增强洞察能力。运动训练对视野可产生良好影响。研究表明,不同运动项目运动员的视野不同,足球运动员的视野范围最大。

猿 融合现象

用闪光刺激人眼时,若刺激频率较低,则产生一闪一闪的光感。当刺激频率逐渐增高到超过一定界线后,则人眼产生连续光感,此现象称为融合现象。电影就是根据人眼的融合现象而设计的。能引起连续光感的最低感光频率,称为临界融合频率或闪烁值。这个数值表示从视网膜至视觉中枢的整个视觉系统的兴奋程度。有研究者认为,闪烁值可作为判断大脑功能兴奋水平和疲劳状态的一个指标。例如,在正常情况下感到是闪光,而发生疲劳后则感到是连续光点,可看作是视觉系统兴奋水平下降,即大脑功能水平降低。闪烁值实验,已作为测试因运动而引起的中枢神经系统急性和慢性疲劳状态的一项常用指标。

三、位觉

耳是听觉器官也是平衡觉器官。耳分为外耳、中耳和内耳三部分(图 5-10-猿)。外耳、中耳及内耳的耳蜗是产生听觉的感受结构,内耳中的椭圆囊、球囊和三个半规管是引起位觉和平衡觉的感受装置。

位觉或称前庭觉是在身体进行各种变速(包括正负加速度)运动和重力不平衡时产生的感觉。当人体进行旋转或是直线变速运动,以及头在空间位置和地心引力的方向出现相对改变时,会

刺激这些位觉感受器，产生兴奋冲动，经前庭神经传送到中枢神经系统，引起相应的感觉和一些生理效应。由位觉感受器所引起的感觉称为位觉。

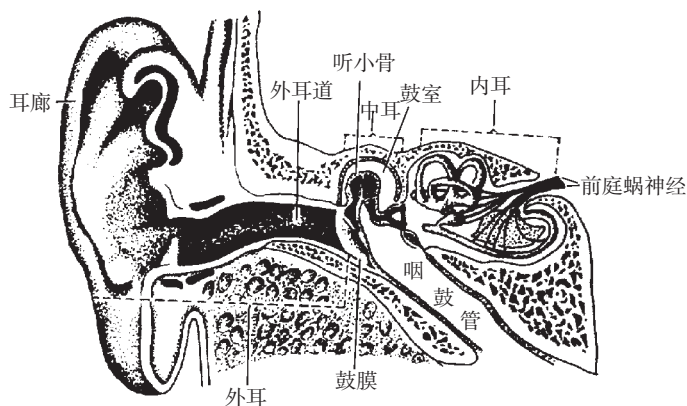


图 10-1 耳的解剖

一、位觉感受器的感受装置和功能

前庭器官是指内耳迷路中的三个半规管、椭圆囊和球囊(图 10-2 源，它是人体感受运动状态和头部空间位置的感受器。前庭器官的感受细胞都称为毛细胞，这些毛细胞通常都有 10~20 条纤细的毛，并按一定的形式排列，毛细胞的适宜刺激是与纤毛面平行的作用力。

(一) 囊斑的感受机制

椭圆囊和球囊统称耳石器官，囊内的感受装置称为囊斑。人体直立时，椭圆囊中囊斑处于水平位置，毛细胞顶部朝上，耳石膜在纤毛上方；球囊中的囊斑所处位置与地面垂直，毛细胞和纤毛由囊斑表面向水平方向伸出，耳石膜悬在纤毛的外侧，与囊斑平行。两个囊斑的纤毛相对位置不同，有利于分辨人体在各种方向的直线变速运动。当头部位置改变，如头前倾、后仰或左、右

两侧倾斜时，由于重力作用和惯性，耳石膜与毛细胞的相对空间位置发生改变，牵拉毛细胞使之兴奋，神经冲动传到前庭神经核，反射性地引起肌紧张变化以维持身体平衡；同时也有神经冲动传入到大脑皮层前庭感觉区，产生头部空间位置改变的感觉。当人体做直线变速运动的开始、停止或突然变速时，耳石膜因直线加速度或减速度的惯性而发生位置偏移，使毛细胞的纤毛弯曲，毛细胞兴奋，通过姿势反射来调整有关骨骼肌的张力，以维持身体的平衡；同时也有神经冲动传入大脑皮层躯体感觉区，引起身体在空间的位置感觉及变速的感觉。

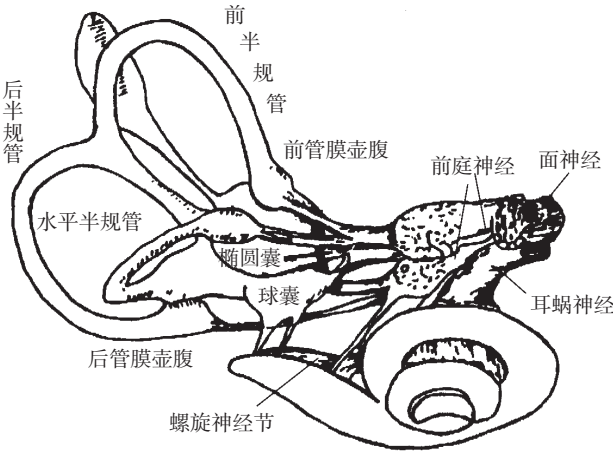


图 5-1 前庭及耳蜗器官模式图

圆 壶腹嵴的感受机制

内耳有三个半规管，位于三个相互垂直的平面上各呈半圆形，开口于前庭，每一个半规管基部均有一个相对膨大的壶腹。壶腹内有隆起结构称为壶腹嵴，壶腹嵴与半规管的长轴相互垂直，分别称为水平半规管、前半规管和后半规管。壶腹嵴含有感受性毛细胞，毛细胞的纤毛上覆盖着许多胶状物质，形如帽状，

称为终帽。

半规管壶腹嵴的主要感受来自旋转运动的正负加速度。当旋转运动开始、停止或突然变速时，由于内淋巴的惯性作用，带动晚于人体运动的半规管管壁上的终帽移动，使毛细胞上的纤毛弯曲而兴奋，神经冲动经前庭神经传入到中枢，产生旋转运动感觉。

水平半规管，主要感受绕垂直轴左右旋转的变速运动，前、后半规管主要是分别感受绕横轴和前后轴旋转的变速运动。因此，人体可以感受任何平面上不同方向旋转变速运动的刺激，反射性地引起眼肌有规律的收缩和骨骼肌的张力改变，从而保持身体平衡。

在实际生活中，前庭所受到的刺激往往是复合的，同时接受角加速度和直线加速度的刺激，即使是单纯的旋转刺激，囊斑也同时受到切线加速的作用，并且在囊斑和壶腹嵴之间存在相互作用。

图 1-2 前庭反射和前庭功能稳定性

(一) 前庭反射

前庭器官的传入冲动除引起运动和位置觉外，还引起各种姿势调节反射，如骨骼肌紧张的改变、眼震颤以及植物性功能改变等，这些改变统称前庭反射。

①肌紧张。人体进行直线变速运动或旋转变速运动时，囊斑和壶腹嵴受到刺激可反射性地引起颈部和四肢肌紧张改变，以维持姿势的平衡。这些由前庭迷路感受器所引起的肌紧张反射性变化称为迷路紧张反射。

②眼震颤。人在做旋转运动时引起眼球发生不随意的颤动，称为眼震颤。眼震颤是由于半规管受刺激而引起眼肌产生不随意的收缩和放松。

通常用检查旋转停止后的眼震颤来判断前庭功能状态。让受

试者坐在转椅上，头前倾 45° 以每两秒一周的速度旋转 10 周，然后突然停止，观察眼震颤持续时间，正常人约持续 15 秒。若眼震颤时间过长或过短，说明前庭功能有过敏或过弱的可能。

③ 植物性功能反应。当人的前庭器官受到过强或过久的刺激时，会引起一系列植物性功能反应，如心率加快或减慢、血压升高或降低、呼吸加速、恶心、呕吐、眩晕、出冷汗、全身无力等现象。这些现象称为前庭器官的植物性功能反应。出现这种反应可严重地影响机体的工作能力。对于飞行、航海、赛艇、划船运动员，在训练时或比赛中出现前庭反应将影响训练效果和比赛成绩；对跳水、花样滑冰、体操等项目的运动员来说，出现这些情况则难以完成高难度的空中动作、翻腾或旋转动作。

（四）前庭功能稳定性与体育运动

前庭功能稳定性是指由于刺激前庭器官，而引起机体各种前庭反射性反应的程度。前庭器官稳定性愈好者，受变速运动刺激时，出现前庭功能的反射反应愈轻；前庭器官稳定性愈差者，引起前庭功能的反射反应愈重，即对一般性的前庭刺激也会引起较强的功能反应。在日常生活中，常会看到有人晕车、晕船和晕机等现象，原因是前庭感受器受到车、船和飞机的突然变速、颠簸、左右摇摆、震荡等过强或过久的刺激，超过个体所能耐受的限度，引起强烈而频繁的神经冲动，经前庭神经核在延髓扩散，并传向小脑和下丘脑，引起全身肌张力的正常关系失调，出现空间定向错觉和更明显的一系列植物性功能紊乱反应，无疑这种现象会影响人体的工作能力。如果一个体操或跳水运动员在运动过程中出现这些反应，在空中就不能完成复杂的动作，影响运动技能的提高和发挥。

运动实践证明，前庭功能稳定性可以在训练中逐步提高，主要是通过被动训练、主动训练和综合训练法进行。其实，各种体育运动均需要改变身体的姿势和位置，只要坚持体育锻炼都可以

增强机体对变速运动的适应能力。

③ 前庭习服

某一特定性质的刺激反复地长期作用于前庭器官，经过一定的时间后，前庭器官对刺激引起的反应逐渐减小，这一现象称为前庭习服。例如，一个花样滑冰运动员经过几个月的锻炼后，双侧前庭对旋转反应显著减弱，停止锻炼几周后快速旋转又会引起反应，再锻炼后反应又明显减弱，这就是前庭习服的表现。

前庭习服的特点有：①容易为反复的弱刺激所引起；②一侧前庭发生习服后对侧前庭也会发生相同的变化；③前庭对某一刺激反应形成习服后，对其他刺激不一定发生习服反应；④前庭习服形成可维持一段时间，数周或数月。关于前庭习服形成机制还不清楚，一般认为不是发生在感受器，可能是发生在前庭神经核或脑干网状结构这一部位。前庭锻炼就是建立在前庭习服的基础上，经过前庭锻炼可增强前庭功能的稳定性，减少前庭刺激引起的不良反应。

四、其他感觉

① 听觉

听觉是人耳接受外界环境中一定范围内声波振动的刺激所引起的感觉。听觉对人类认识和适应环境变化有着重要的意义，特别是有声语言是互通信息、交流思想、传授知识的重要工具。

② 听觉的形成过程

耳是听觉的外周器官。外耳与中耳为传音装置，内耳与听神经为感音装置。外耳包括耳廓和外耳道，耳廓有集音和辨别方向的作用，外耳道能无衰减地传导声波。中耳主要由鼓膜、鼓室、听小骨和咽鼓管组成。

① 耳的传音功能

声波首先经过听觉器官的传音装置（外耳、中耳），再传到

感音装置（内耳的耳蜗螺旋器）。将声波转变为听觉神经纤维上的神经冲动传送到大脑皮层颞叶，产生听觉。外耳、中耳和内耳结构关系如图 10-1 缘所示，它们构成了声波由外耳传向内耳耳蜗的最有效通路。由于鼓膜具有一定的紧张度和弹性，极其微弱的声波也能使它振动，并且在振动时能与声波刺激同始同终。中耳中的听小骨，在能量传递过程中惰性最小，效率高。振动由鼓膜经听骨链传向卵圆窗时，幅度减小而压强增大。又由于听骨链通过其杠杆作用使振动力量增至 17 倍，整个中耳在传递过程中可使声压增强 3.5 倍，从而有利于推动内耳淋巴液的振动，提高听觉的敏感性。

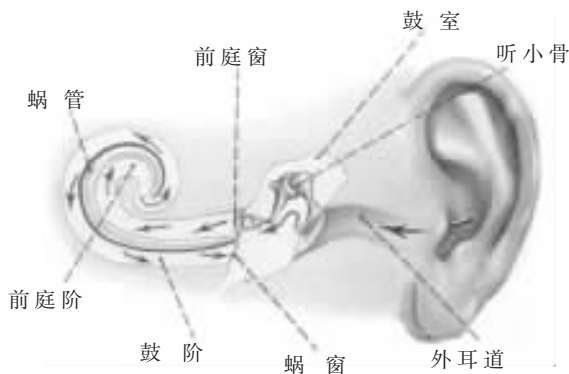


图 10-1 缘 声波传导途径示意图

咽鼓管与咽腔和中耳腔相通，可调节中耳内外的压力使中耳腔与外界大气压保持平衡，从而保持正常的听力。

②耳蜗的感音功能

内耳的耳蜗是感音器官。在耳蜗的横断面上可看到，斜行的前庭膜和横行的基底膜把耳蜗管道分为三个腔：前庭阶、鼓阶及其间的蜗管，三个腔内均充满淋巴液。蜗管内的淋巴液浸浴在位于基底膜的螺旋器表面，螺旋器中的毛细胞是听觉感受细胞，其

顶部在排列整齐的听毛，其中较长的一些听毛植埋在游离的盖膜之中（图 5-10-2）。

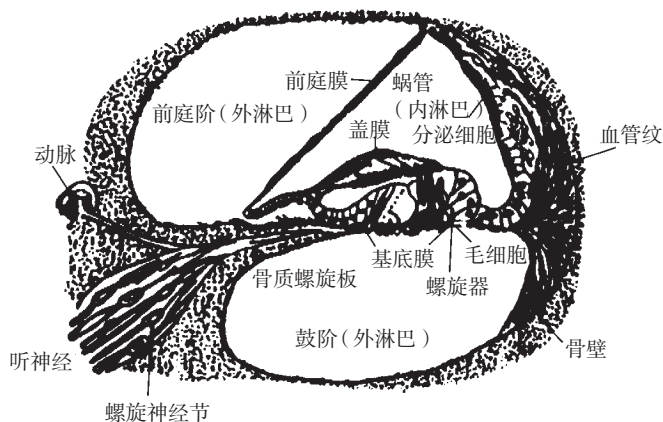


图 5-10-2 耳蜗的横断面

外界的声波振动沿外耳道、鼓膜、听骨链到达卵圆窗，引起耳蜗内淋巴和基底膜振动，螺旋器也随之振动，使得毛细胞因其顶部的听毛与盖膜接触发生弯曲而产生电位变化，发出冲动，并沿听神经传向听中枢，产生听觉。

（圆 听觉的适应与疲劳

①听觉的适应。声音较长时间作用于听觉器官时，听觉感受性会降低，将这种生理现象称为听觉的适应。一般在声音停止刺激 5-10 分钟后，听觉器官感受性即恢复正常，当声音只作用于一侧听觉器官时，两耳都可发生听觉适应现象，说明听觉适应现象是产生在听觉中枢。

②听觉疲劳。听觉器官连续几个小时受过强刺激后，其感受性会显著降低，但这和适应现象不同，往往要经几小时，甚至一昼夜或几天，听觉的感受性才能恢复。这种由于长时间的强刺激引起听觉感受性较长时间的下降现象，称为听觉疲劳。如果连续

几个月或几年听觉器官经常受到致疲劳噪音的作用，正常感受性不仅不能完全恢复，而且会使听力不断下降造成耳聋，严重的还会引起耳鸣、血压升高和胃肠紊乱等。

研究噪声对人体的影响，在 30dB 以下的低强度噪声对人体并无伤害。噪声强度超过 50dB 时，人的工作效率就受到干扰，噪声在 70dB~80dB 以上时，就明显地使人体功能紊乱，大脑皮层兴奋与抑制过程失调，产生情绪不安、心烦意乱、感觉功能下降等。运动员在比赛时受到强烈的噪声干扰，易出现过分紧张，缺乏比赛经验的运动员，往往发挥不出原有的技术水平。因此，在日常训练时注意合理安排在有噪声环境下进行训练或比赛，有利于保持良好的竞技状态。

10.3 本体感觉

本体感觉是指肌梭、腱梭、关节囊和韧带等处的感觉神经末梢装置，它们能感受肌肉张力的变化和环节在关节处运动的刺激，并将这类刺激转变为神经冲动，传向大脑皮质，产生身体各部相对位置和状态的感觉。例如，人在闭眼时，能了解自己的空间位置和运动状态等，这与运动觉有关。机体在进行运动时，本体感受器一方面能将运动觉刺激转变为神经冲动，传入大脑皮层的相应中枢，通过综合分析活动，使机体感知身体在空间的位置、姿势以及身体各部位肌肉的活动状态使之产生正确肌肉感觉。

运动实践证明，随着运动员本体感受器功能的提高，运动技术水平也提高。例如，篮球、足球运动员动作技能熟练后，有时可以不用视觉，主要靠本体感受器功能控制球完成复杂的动作。体操、跳水运动员在空中完成翻腾、转体动作时，本体感受器的传入冲动对时间和空间的感知，对正确完成复杂动作起着重要作用。本体感受器功能的提高，不仅可以促进动作技能的形成和肌肉活动在时间和空间上更加协调，还有助于运动技术、战术的运

用与创新。

肌肉活动时所产生的本体感觉往往被视觉、听觉或其他感觉所遮蔽，而不体现出明确的主观感觉，故本体感觉又称为暗淡的感觉。本体感觉能力必须经过相当长时间的训练，才能明显而精确地在自己的动作过程中体验到。例如，运动员在完成熟练的动作时，略有变化就能感觉出来，而新学的动作虽然有很大的毛病，往往也不易感觉到。因此，在体育实践中只有反复练习，才能获得本体感受器功能的提高，进而加速运动技能的形成和提高运动技术水平。

触压觉和压觉

触觉和压觉都是皮肤受机械刺激时产生的感觉，由于两者在性质上类似，故统称为触压觉。

触觉感受器是触觉小体和毛囊周围的神经末梢，当受到轻微的不引起皮肤变形的刺激所产生的感觉称为触觉。压觉感受器是位于皮肤深部的环层小体，受到较强的机械刺激导致皮肤变形时引起的感觉，称为压觉。

在日常生活和体育运动实践中，触压觉同视觉、本体感觉相结合，使机体能辨别环境中各种物体的大小、形状、硬度、光滑度以及空间位置等。例如，运动器材表面是否光滑、单双杠粗细是否合适、跑道路面是否平坦等，许多同体育活动有关的条件，都需借助触压觉的分析来判断。

内脏感觉

内脏感受器分布较广泛，心脏、血管、胃、肠、膀胱、子宫等中空器官，其壁都有机械感受器能感受压力刺激；支气管和细支气管以及体循环动脉中的主动脉弓、颈动脉窦、颈总动脉等组织中的感受器，则感受牵张刺激。内脏还有大量的化学感受器可感受内环境各种化学成分改变的刺激。例如，缺氧、二氧化碳过多、酸碱度与渗透压的改变、食物的成分、激素和某些药物、毒

素等。

内脏感觉冲动在一般情况下不引起主观感觉，或者缺乏准确的定位感觉。例如，颈动脉窦和主动脉弓压力感受性反射，虽然经常对较迅速出现的主动脉血压变化发生调节作用，但人在主观上却感觉不到，只有当体内脏器受到牵拉或比较强烈刺激（缺血、痉挛和炎症等）时，才引起主观感觉。这一特点可能与大脑皮层内脏感觉区相对较小、不集中有关，另外，也与体内情况相对较稳定，常不足以引起皮层发生很强的兴奋灶有关。

内脏感觉对维持机体内环境的动态平衡，以及机体的完整统一性有着重要作用。例如，人体在进行剧烈运动时，心血管系统活动也发生相应变化，其调节机制是多方面的：运动中若呼吸功能跟不上需要，则血液中氧的分压降低，肌肉血管舒张，平均动脉血压下降，此时可使颈动脉窦、主动脉弓压力感受性反射减弱，总的结果使心输出量增加，动脉血压升高。

第二节 摇肌肉工作的神经控制

一、神经元间的功能联系与反射

園院触与突触传递

神经元是神经系统的形态和功能单位。按其功能，神经元可分为传入神经元、中间神经元和传出神经元。显然神经系统的功能不可能依靠单个神经元的活动来完成。那么兴奋是如何在神经元之间传递呢？两个神经元之间并无直接连续，他们之间兴奋的传递依靠一种特殊的结构——突触。一个神经元的轴突末梢与其他神经元的胞体或突起相接触，相接触处所形成的特殊结构称为突触。神经元之间的兴奋传递就是依靠突触而完成的。反射是神经调节的基本方式，通过神经元与神经元之间、神经元与效应器

之间的联系，神经系统才能完成反射活动。

（四）突触的结构

一个经典的突触包括突触前膜、突触间隙和突触后膜三部分（图 8-1 苑）。突触前神经元的轴突末梢分成许多分支，每一分支的末端膨大呈球状形成突触小体，贴附在下一个神经元的胞体或树突的表面。突触前膜就是前一神经元轴突末梢的一部分轴突膜，而与之相对的另一神经元的树突、胞体或轴突膜即是突触后膜。两膜之间的间隙称为突触间隙。突触前神经元靠近突触前膜的轴浆内含有较多的线粒体和大量聚集的突触小泡，内含高浓度的神经递质。在突触前膜内侧有致密突起和网格形成囊泡栅栏，其空隙处正好容纳一个突触小泡，这种栅栏结构具有引导突触小泡与突触前膜接触的作用，促进突触小泡内的递质释放。

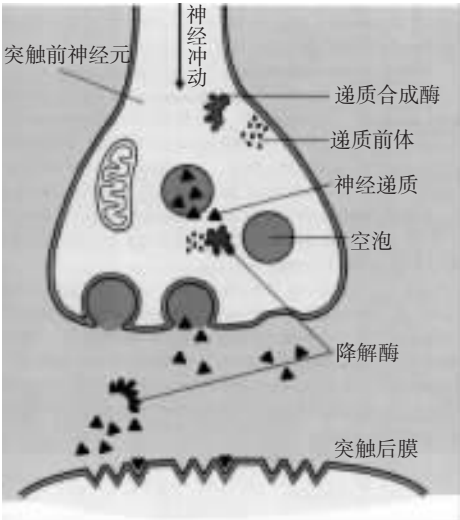


图 8-1 苑 突触的结构

（四）突触传递的过程和机制

这一过程与兴奋在神经—肌肉接点的传递过程非常相似。即当突触前神经元将兴奋冲动传至神经末梢，神经末梢的动作电位可引起前膜对 Na^+ 的通透性增加， Na^+ 由膜外进入突触前膜，促使一定数量的突触小泡与前膜接触、融合和胞裂，最终导致神经递质的释放到突触间隙。释放到突触间隙的递质，经过扩散到达突触后膜，与其上的特异性受体结合，导致突触后膜对某些离子的通透性改变，使其膜电位发生改变，称为突触后电位。通过突触后电位的作用使突触后神经元兴奋或抑制。

递质发生效应后，即被酶水解失活。如，乙酰胆碱可被胆碱酯酶水解，或通过体液移走。去甲肾上腺素可被突触前膜重新摄取。

（五）突触后神经元的电活动变化

由于递质对突触后膜离子通透性的影响不同，突触后电位也不同。突触后电位主要有兴奋性突触后电位（EPSP）和抑制性突触后电位（IPSP）两种形式。

① 兴奋性突触后电位（EPSP）。如果突触后膜释放的是兴奋性递质，后膜的膜电位在递质的作用下发生去极化改变，使该突触后神经元对其他刺激的兴奋性升高，这种电位变化称为兴奋性突触后电位。电位的大小取决于突触前神经元的活动强弱，活动弱则兴奋性突触后电位的幅度较小；活动强或参与活动的突触数量增多，则 EPSP 可发生总和，以致突触后电位的幅度加大而引发可沿神经元传导的动作电位，表现为突触后神经元兴奋。

形成 EPSP 的机制是：某种兴奋性递质作用于突触后膜上的受体，提高了后膜对 Na^+ 、 K^+ 和 Cl^- 的通透性，特别是 Na^+ 的通透性，从而导致局部膜的去极化。

② 抑制性突触后电位（IPSP）。如果突触后膜释放的是抑制性递质，后膜的膜电位在递质的作用下发生超极化改变，使该突触后神经元对其他刺激的兴奋性减弱，这种电位变化称为抑制性

突触后电位。这种抑制性电位可以降低突触后膜的兴奋性，~~抑制~~亦可发生总和，从而阻止突触后神经元产生扩布性动作电位，呈现抑制效应。

形成~~抑制~~的机制是：某种抑制性递质作用于突触后膜上的受体，提高了后膜对~~兴奋~~的通透性，从而使膜电位发生超极化。有人认为~~抑制~~的产生与~~兴奋~~通透性和~~兴奋~~内流，以及~~兴奋~~或~~兴奋~~通道的关闭有关。

从全程来看，突触传递是一个电—化学—电的过程，即由突触前神经元的生物电变化，通过突触末梢的化学递质释放，最终引起突触后神经元的生物电改变。

源 神经递质

神经递质是指由突触前神经元合成并在末梢处释放，经突触间隙扩散，特异性地作用突触后神经元或效应器细胞上的受体，引致信息从突触前传递到突触后的一些化学物质。神经递质在突触的传递过程中起着重要作用，是神经冲动通过突触传递的物质基础。

外周神经末梢释放的递质称为外周递质，如运动神经元末梢释放的乙酰胆碱（~~乙酰胆碱~~）。一般来说交感神经的节前纤维和副交感神经的节后纤维，都以~~乙酰胆碱~~为递质，大部分交感神经的节后纤维释放的递质是去甲肾上腺素（~~去甲肾上腺素~~）。

中枢神经系统中的神经末梢释放的递质称为中枢递质。中枢递质的种类较多，主要包括乙酰胆碱（~~乙酰胆碱~~）、单胺类（如多巴胺、去甲肾上腺素和~~去甲肾上腺素~~）、氨基酸类（如谷氨酸、色氨酸和 γ 原氨基丁酸）和肽类（如脑啡肽）等。其中，按作用可分为兴奋性递质（如乙酰胆碱、谷氨酸）和抑制性递质（如多巴胺、 γ 原氨基丁酸）。

图例反射

人体中枢神经系统中的神经元数量及其突触联系极为庞大复

杂，然而错综复杂的神经活动是有规律可循的。实现神经系统功能的基本方式是反射。

（一）反射与反射弧

①反射的概念与分类。反射是指在中枢神经系统的参与下，机体对内、外环境变化所作出的规律性应答。几乎全身每一块肌肉和每一内脏器官都有反射活动，而且每一块肌肉和每一内脏器官都有多种反射活动。反射活动是多种多样的，巴甫洛夫提出了条件反射学说，将反射分为条件反射和非条件反射。

非条件反射是指生来就有、数量有限、比较固定和形式低级的反射活动，包括防御反射、摄食反射、性反射等。非条件反射是人和动物在长期的种系发展中形成的。它的建立可无需大脑皮层的参与，通过皮质下各级中枢就可形成。非条件反射使人和动物能够初步适应环境，对个体生存和种系发展有重要意义。

条件反射是通过后天学习和训练而形成的反射，是反射的高级形式。条件反射是人和动物在个体的生活过程中，按照所处的生活条件，在非条件反射的基础上不断建立起来的，其数量无限，可以建立也可以消退。高等动物形成条件反射的主要中枢部位在大脑皮层。

②反射弧。反射的结构基础和基本单位是反射弧。反射弧包括感受器、传入神经、神经中枢、传出神经和效应器（图10-1）。反射的中枢部分通常是指中枢神经系统内调节某一特定生理功能的神经元群，如呼吸中枢、血管运动中枢、吞咽反射中枢等。一般而言，简单的反射，参与反射的中枢范围较狭窄，如膝跳反射的中枢在腰段脊髓，角膜反射的中枢在脑桥。但要调节一个复杂的生命活动，参与的中枢范围很广，如调节呼吸运动的中枢分布在延髓、脑桥、下丘脑，以至大脑皮层等部位内。在自然情况下，反射活动需要反射弧结构和功能的完整，假如反射弧中任何一个环节中断，反射将不能进行。

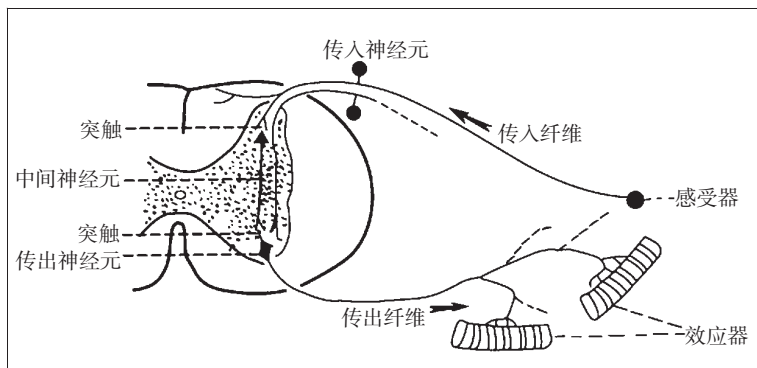


图 4-1 反射弧

在整体情况下发生反射活动时，感受器的传入冲动传入脊髓或脑干后，除在同一水平与传出部分发生联系并发出传出冲动外，还有上行冲动传导到更高级的中枢部位，乃至大脑皮层的中枢，进一步通过高级中枢的整合，再发出下行冲动来调整反射的传出冲动。因而，在发生反射活动时，既有初级水平的整合活动，也有较高级水平的整合活动，通过多级水平的整合后，反射活动具有更大的复杂性和适应性。

神经中枢的活动可通过神经纤维直接作用于效应器，在某些情况下传出神经也可以作用于内分泌腺，通过体液因素间接作用于效应器。有体液因素参与的反射活动，往往变得比较缓慢、广泛而持久。

（四）中枢神经元的联系方式

人体中枢神经系统的传出神经元数目约数十万个，传入神经元较传出神经元多 5~10 倍，而中间神经元数目最多，单就大脑皮层而言，就约有 100 亿个。神经元不但数目巨大，其相互联系也非常复杂。各种神经元之间的联系主要有以下几种基本形式：

① 辐散。一个神经元的轴突可以通过分支与其他许多神经元建立突触联系，称为辐散。如图 4-2 所示的联系有可能使一

个神经元的兴奋引起许多神经元的同时兴奋或抑制。一般来说，传入神经的神经纤维进入中枢系统后与其他神经元发生的突触联系，以辐散为主。辐散在感觉传入通道上多见。

②聚合。同一神经元的胞体和树突可接受来自许多神经元的突触联系，称为聚合。如图 10-1 所示的联系使许多神经元的作用都引起同一神经元的兴奋而发生总和，也可能使来自许多不同神经元的兴奋和抑制在同一神经元上发生整合。这样能使中枢神经系统内的神经活动能够整合集中。在中枢神经系统内，传出神经与其他神经元发生的突触联系，以聚合为主。聚合在运动传出通路上多见。

③链锁状与环状联系。中间神经元的联系方式更复杂，有的呈链锁状，有的呈环状（图 10-1）。此种联系中，辐散和聚合同时存在。

兴奋通过中间神经元的链锁状联系时，可以在空间和时间上加强或扩大作用范围。兴奋通过中间神经元的环状联系时，一方面可能由于反复的兴奋反馈，在时间上加强了作用的持续性；另一方面可能由于返回的抑制反馈，在时间上使活动及时终止。前者是正反馈，后者是负反馈。

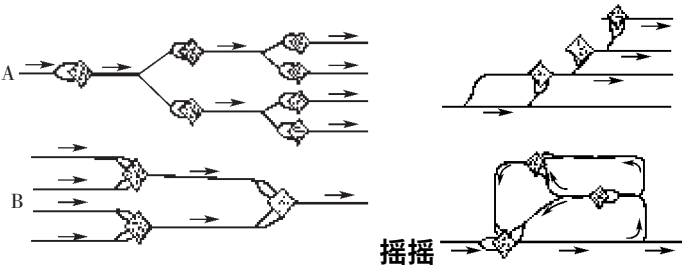


图 10-1 神经元的辐散（A）、聚合（B）、链锁状（C）与环状联系

③ 突触传递的特征

兴奋通过突触的传递明显不同于神经纤维上的冲动传导，这是由于突触本身的结构和化学递质的参与等因素所决定的。突触传递的特征表现为以下几个方面：

①单向传布。兴奋在通过突触传递时只能沿一个方向进行，因为在突触部位，一般只有突触前膜能释放递质，因此兴奋不能逆向传布。

②突触延搁。兴奋在反射中枢内传布较慢，称为突触延搁。突触延搁主要消耗在突触传递上，包括突触前膜释放递质和递质扩散发作用等环节，因此兴奋通过突触部分耗时较长。据测定，兴奋通过一个突触所需的时间约 $0.5 \sim 1$ ms。在反射活动中，当兴奋通过中枢部分时，往往需要通过多个突触的接替，因此延搁时间达 $1 \sim 2$ ms。与大脑皮层活动相联系的反射，可达 $10 \sim 20$ ms 左右。

③总和。在突触传递过程中，突触后神经元发生兴奋需要有多个 $EPSP$ 加以总和，才能使膜电位的变化触发动作电位。兴奋的总和是指如果从单根神经纤维传来连续多个冲动或从多根神经纤维同时传来单个神经冲动，则可发生叠加，前者是时间性总和，后者是空间性总和。如果膜电位的变化不能触发动作电位，但可提高神经元的兴奋性。

④兴奋的节律变化。在反射活动中，传入与传出神经的冲动频率不同，即经过神经中枢，兴奋的节律发生了改变。此现象在兴奋通过单突触也会发生。这是由于传出神经元的兴奋节律，不但取决于传入冲动的节律，还与其本身的功能状态有关。此外，在中枢传递过程中，一个神经经常与其他多个神经元发生突触联系，通过整合后再发出传出信息；同时，即使同一途径来的信息也常由多个中间神经元活动来接替，而这些神经元的功能状态和联系方式各不相同，因此最后的传出冲动的节律取决于各种因素

总和后的突触后电位水平。

⑤对内环境变化敏感和易疲劳。突触部位易受内环境理化因素变化的影响,如缺氧、二氧化碳、麻醉剂以及细胞外液 Ca^{2+} 浓度等均可作用于突触传递的某些环节,从而改变突触部位的兴奋性和传递兴奋的能力。此外,突触部位是反射弧中最易疲劳的环节。

⑥ 中枢抑制

中枢神经系统的活动,除兴奋过程外,还有抑制过程。可以认为,在任何反射活动中,中枢内既有兴奋过程,又有抑制过程,但中枢抑制不同于疲劳、耗竭时所产生的结果。兴奋和抑制是中枢神经系统的基本活动过程,两者相互对立统一,使神经系统能够协调地完成其功能。

中枢内兴奋的产生,已经明确是由于递质作用于突触后膜,形成兴奋性突触后电位所致。中枢抑制的产生,则情况比较复杂,目前认为可能产生于两个不同的部位,一个是突触后膜,称为突触后抑制;另一个是突触前膜,称为突触前抑制。

① 突触后抑制

突触后抑制是由抑制性中间神经元的活动而引起的。抑制性中间神经元与后继的神经元构成抑制性突触,当抑制性神经元兴奋时,末梢释放抑制递质,使突触后膜产生超极化,称抑制性突触后电位,从而呈现抑制现象。此种抑制由于发生在突触后膜上,因此称为突触后抑制,又由于是后膜超极化的结果,所以又称为超极化抑制。突触后抑制可分为传入侧支性抑制和返回抑制。

② 传入侧支性抑制。例如在脊椎动物的屈肌反射中,传入神经进入脊髓后,可直接兴奋支配屈肌的运动神经元,引起屈肌收缩;同时通过侧支兴奋另一个抑制性中间神经元,再通过抑制中间神经元的活动,对支配伸肌的运动神经元产生抑制作用使屈

肌舒张，从而保证屈肌反射顺利进行（图 5-15）。通常所说的“交互抑制”本质上就是这种抑制。显然此种抑制可使不同中枢之间的活动协调起来，即当一个中枢发生兴奋时，另一个中枢则发生抑制，两者相互配合。

5. 返回抑制。它是指某一中枢的神经元兴奋时，其传入冲动沿轴突外传，同时又经其轴突侧支兴奋另一抑制性中间神经元。该抑制性中间神经元兴奋后，其活动经轴突返回原先发动兴奋的神经元及同一中枢的其他神经元，抑制它们的活动，这种抑制称为返回抑制。如图 5-16 所示，脊髓前角的 α 运动神经元发放冲动将导致骨骼肌收缩。但 α 运动神经元的轴突侧支与另一个闰绍细胞（抑制性中间神经元）建立突触联系后，通过闰绍氏细胞的轴突返回作用于 α 运动神经元使其产生抑制，这是一种负反馈抑制。神经元可以通过这种负反馈来抑制自己的活动，同时也可促使同一中枢的其他神经元的活动及时终止，使同一中枢内的许多神经元的活动步调一致。士的宁可阻断闰绍氏细胞的返回抑制，导致强烈的肌肉痉挛。

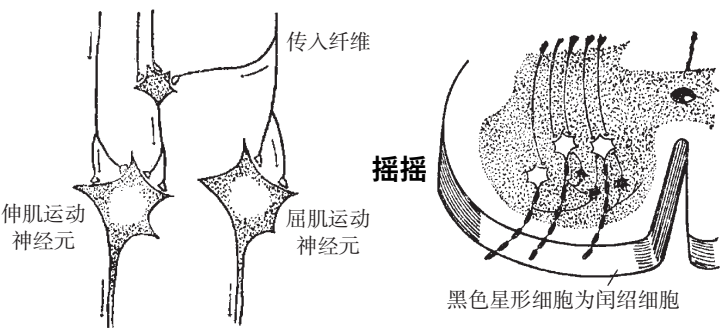


图 5-15 交互抑制示意图 图 5-16 返回抑制

抑制②突触前抑制

突触前抑制的生理机制是以减少兴奋性神经元轴突末梢释放的递质，从而使突触后神经元不易或不能产生兴奋性突触后电位。但突触后膜却不产生抑制性突触后电位，即突触后膜的兴奋性此时未变。由于这种抑制效应产生在突触前膜，因此称为突触前抑制。

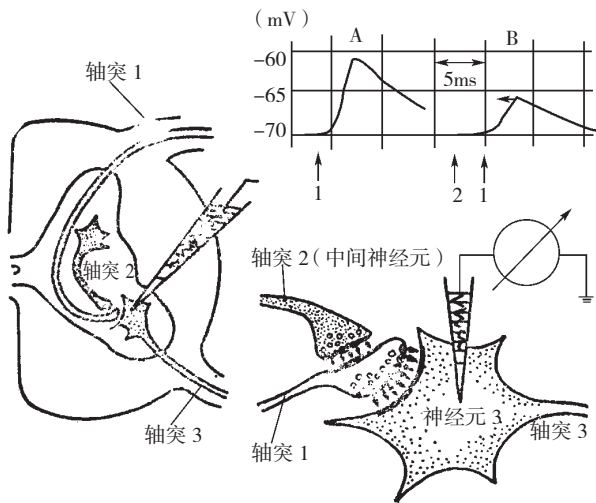


图 10-1 表示刺激轴突 1 图 10-2 表示兴奋轴突 2

图 10-3 表示突触前抑制的产生

突触前抑制是通过轴—轴突触的活动而发生的，图 10-1 显示这种关系，轴突 1 和神经元 3 构成轴—体突触（是一种兴奋性突触，能使神经元 3 兴奋）；轴突 2 与轴突 1 构成轴—轴突触；轴突 2 与神经元 3 不直接接触，故轴突 2 单独兴奋时轴突 1 没有反应。当轴突 1 兴奋时可引起轴突 3 产生约 10mV 的兴奋性突触后电位（图 10-1 是静息电位）。但如果在轴突 1 兴奋之前，先使轴突 2 兴奋，则神经元 3 的兴奋性突触后电位幅度减至约为 5mV。

(图 10-1 抑制波)，即产生了抑制效应，说明轴突圆兴奋可抑制轴突员的兴奋作用。因此认为，突触前抑制的产生机制是，当轴突圆兴奋时释放递质，使轴突员末梢的去极化膜电位减低，形成的动作电位就小，因此轴突末梢递质的释放量减少，结果使得神经元猿的兴奋性突触后电位大减，不易或不能发生兴奋，因此呈现抑制效应。这种抑制是改变了突触前膜的活动而发生的，因此称为突触前抑制。原因不是突触后膜产生超极化（抑制），也不是突触后膜的兴奋性未变，而是仍然产生去极化（兴奋）。

突触前抑制在中枢神经系统广泛存在，多见于感觉传入途径中，它对外周传入信息控制有重要作用。

二、脊髓对躯体运动的调节

脊髓神经元的活动

脊髓是实现躯体运动最低级中枢所在地，又是有关躯体运动信息传入的起始站和传出的最后通路。脊髓神经元的活动在实现躯体反射运动中有重要意义。

(员 运动神经元的输入。进入脊髓中与运动功能有关的传入信息包括来自外周的感觉信息和来自高位中枢的控制信息。感觉信息不仅来自本体感受器（如肌梭、腱梭等），也来自肌肉中其他的感受器及各种皮肤感受器，它们都通过背根进入脊髓，再上传至高位中枢，并在传送感觉信息的同时，通过侧支传到中间神经元和运动神经元。来自高位中枢的传入信息起源于大脑皮层、小脑核、基底核、脑干及前庭核等，通过皮层脊髓束，网状脊髓束等与脊髓运动神经元发生联系。运动神经元的活动直接接受来自这些不同方面的影响，最后的输出信息取决于对这些输入信息的整合。

(圆 中间神经元。中间神经元位于脊髓传入纤维和传出纤维之间，是脊髓灰质神经元的主要部分，某些脊髓节段中间神经

元可多至 100 万个以上。中间神经元的主要功能是介导传入和传出信号,并将传入信息整合成为新的、不同模式的输出。有些中间神经元彼此相互连接组成不同环路,经过环路一个短促的感觉输入信息,可能引起运动神经元持续不停的长时间发放;此外,这种环路还可将一排传入冲动分散到相距甚远的许多运动神经元群。中间神经元不仅接受来自外周躯体感觉的传入冲动,同时也接受高位中枢下行系统的控制。由于高位中枢的控制,中间神经元的活动发生变化,调节来自肌梭、脏器官的感觉信号,使它们作用于运动神经元或是停止这种作用,从而成为调节外周感觉信号传至运动神经元的闸门。此外,中间神经元也能将传入的兴奋信号转变为抑制信号,起着信号转换器的作用。

(3) 传出。调节躯体运动中枢有关的命令最终是由脊髓前角灰质中运动神经元传给肌肉的,某块肌肉的运动无论是反射活动引起的、或是随意运动性质的,其收缩都是经同一运动神经元的活动而实现的。脊髓中存在的大量运动神经元,按其功能可分为两种,即 α 和 γ 运动神经元,它们的轴突经前根离开脊髓直达所支配的肌肉。

① α 运动神经元。 α 运动神经元的大小不等,胞体直径从几十到 100 μm 不等,大 α 运动神经元支配快肌纤维,小 α 运动神经元支配慢肌纤维。运动神经元接受来自皮肤、肌肉和关节等外周传入的信息,也接受从脑干到大脑皮层等高位中枢下传的信息,产生一定的反射传出冲动。因此, α 运动神经元是脊髓运动反射的最后公路。

② γ 运动神经元。脊髓灰质前角的 γ 运动神经元散布于 α 运动神经元之间,细胞体较 α 运动神经元小,轴突较细,也经前根离开脊髓,支配骨骼肌中的梭内肌纤维。 γ 运动神经元的兴奋不能引起骨骼收缩,不能产生运动,但它的兴奋使梭内肌收缩,调节肌梭的敏感性。

α 与 γ 运动神经元都接受高位脑中枢的控制。据观察,前根中神经纤维的三分之一来自 γ 运动神经元。 γ 运动神经元的兴奋性较高,常以较高频率持续放电。在安静和麻醉的动物中观察到,即使 α 运动神经元无放电,一些 γ 运动神经元仍持续放电。 γ 运动神经元和 α 运动神经元一样,末梢也是释放乙酰胆碱作为递质的。在一般情况下,当 α 运动神经元活动增加时, γ 运动神经元的活动也相应增加,从而调节着肌梭对牵拉刺激的敏感性。

图 脊髓反射

脊髓是初级反射的中枢,有它复杂的活动内容。我们把那些潜伏期短、活动形式固定,只需外周传入和脊髓参与的反射活动称脊髓反射。

(员 牵张反射。在脊髓完整的情况下,当肌肉受到外力牵拉使其伸长时,引起被牵拉的肌肉发生反射性收缩,从而解除了被牵拉状态,这种反射称为牵张反射。牵张反射有紧张性牵张反射和位相性牵张反射两种类型。

①紧张性牵张反射,又称为肌紧张。它是指缓慢持续牵拉肌肉时发生的牵张反射,其表现为受牵拉的肌肉发生紧张性收缩。肌紧张是维持人体姿势的最基本的反射活动,是一切姿势反射的基础。例如,人体站立姿势的维持,就是依靠这类牵张反射而实现的。当人体站立时,受到重力的影响使支持体重的关节(如膝关节、脊柱等)趋向于被重力所弯曲,关节弯曲势必使该关节的伸肌(股四头肌、骶棘肌等)被牵拉,缓慢持续牵拉这些肌肉就会反射性的引起该块肌肉收缩,以对抗关节的屈曲,从而得以维持站立姿势。可见,在维持站立姿势时,伸肌活动处于主导地位,由于重力经常作用于关节,因而这种牵张反射也就持续发生。肌紧张反射的收缩力并不大,只是抵抗肌肉被牵拉,因此没有明显的外在表现。而且在同一肌肉内,由不同运动单位进行轮替收缩而不是同步收缩,所以肌紧张能持久维持而不易疲劳。

②位相性牵张反射，又称为腱反射。它是指快速牵拉肌腱时发生的牵张反射。例如，叩击股四头肌肌腱使之受到牵拉，反射性的引起股四头肌发生一次收缩，称为膝跳反射。叩击跟腱引起腓肠肌发生一次收缩，称为跟腱反射。腱反射中的肌肉收缩几乎是一次快速的同步性收缩。其反射弧途径如图 圆- 圆所示。

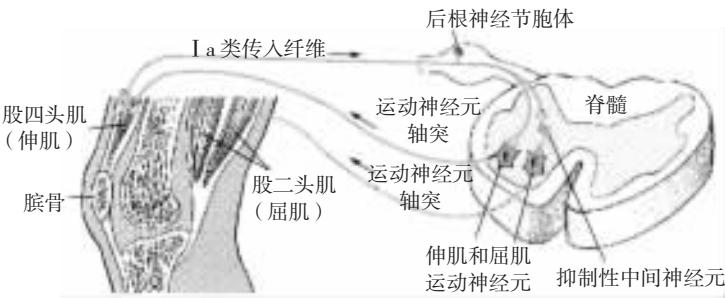


图 圆- 圆 膝腱反射的反射弧

紧张性牵张反射的感受器是受牵拉肌肉中的肌梭，效应器是受牵拉肌肉中的慢肌纤维；位相性牵张反射虽是由于牵拉肌腱引起的，但它的感受器也是受牵拉肌肉中的肌梭（因牵拉静息肌肉的肌腱时，与之呈串联关系的肌组织也会受牵拉，相比之下，放松的肌肉比肌腱更容易被拉长），效应器是受牵拉肌肉中的快肌纤维。这两类牵张反射的中枢都在脊髓，但肌紧张的中枢突触接替属多突触联系。

圆 屈肌反射。当动物皮肤受到伤害性刺激时，受刺激一侧的肢体出现收缩而伸肌松弛，这一反射称屈肌反射。屈肌反射的强度与刺激强度有关。如肢体某一局部皮肤和皮下组织的触、压、热、冷等感受器在接受较弱刺激之后，引起肢体的轻度回缩；强烈疼痛刺激或伤害性刺激引起整个肢体屈肌肌群的收缩，使肢体产生迅速背离伤害源回缩活动。屈肌反射具有一定的保护性意义。如蟾蜍的搔扒反射。屈肌反射的重要特点是：有中间神

经元的介入，有两个或两个以上突触参与，属于多突触反射，其反射弧传出部分可通向多个关节肌肉。

⑤ 脊髓对运动的调节。有人研究发现，高位横断的猫或狗，肢体仍能作交替的走动，这就提示：在脊髓内可能存在有控制走动的中枢，它以一种比较固定的程序触发四肢规律性的步态活动。这种中枢性节律是由于有关的伸肌运动神经元接受固定的中枢控制程序的结果。目前认为走动中枢控制程序位于脊髓，是由固有的脊髓神经元产生的。

三、脑干对肌紧张和姿势反射的调节

① 脑干对肌紧张的控制

实验表明，脑干对脊髓的 γ 运动神经元具有易化（即加强）和抑制两方面的作用，并通过它对肌紧张起着调节作用。这两方面的作用是由脑干网状结构实现的。

延髓网状结构的腹内侧部兴奋时，发放冲动到脊髓，能抑制 γ 运动神经元，使四肢伸肌紧张性降低。这部分结构及其下行神经路径，称为脑干网状下行抑制系统。相反，刺激脑干网状结构的背外侧部（图 圆- 缘的缘区），能兴奋 γ 运动神经元，使四肢伸肌紧张性提高，这个部位的区域较大，从延髓向脑桥和中脑延伸，并达到间脑的腹侧，这一脑干部位及其下行路径，总称为脑干网状下行易化系统。除网状结构外，延髓的前庭核另有下行路径到达脊髓，也能加强伸肌的牵张反射。

由此可见，脑干对脊髓躯体运动神经元的下行作用，包括易化和抑制两个方面。在通常情况下，这两个方面的作用是经常保持动态平衡，而当上位中枢的下行控制失去时，这种动态平衡便丧失。大脑皮质运动区和纹状体等部位对脑干网状结构抑制区有加强作用，若在中脑上、下丘之间切断后则使脑干网状结构中抑制区活动减弱，而易化区的活动加强，以致牵张反射过度加强造

成伸肌紧张亢进。

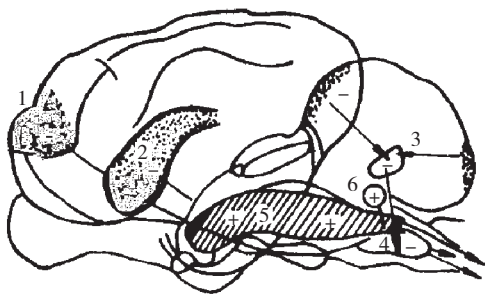


图 10-1 兔脑各部，特别是脑干网状结构下行抑制（原）和易化（增）系统示意图

图 10-2 姿势反射

为了保证正常的身体姿势，需要全身骨骼肌相互协调地保持不同程度的张力。在躯体活动过程中，中枢不断地调整不同部位骨骼肌的张力，以完成各种动作，保持或变更躯体各部分的位置，这种反射活动总称为姿势反射。

（一）状态反射

①迷路紧张反射。指当头部空间位置发生改变时，内耳迷路耳石器官的传入冲动对躯体伸肌紧张性的调节反射。不同头部位置对耳石器官产生不同刺激，传入冲动沿前庭神经进入延髓的前庭神经核，再通过前庭脊髓束到达脊髓前角，与 α 运动神经元构成突触联系，并发出冲动引起有关伸肌紧张性增加。

②颈紧张反射。指颈部扭曲时，颈椎关节韧带和颈部肌肉受到刺激后，对四肢肌肉紧张性的调节反射。例如，实验证明，头向一侧扭转时，下颊所指一侧的伸肌紧张性加强；如头后仰时则前肢的伸肌紧张性加强，而后肢的伸肌紧张性降低；头前俯时则后肢伸肌紧张性加强，而前肢的伸肌紧张性降低。在正常人身上，由于高位中枢的存在，往往使先天的状态反射不易表现出

来。如果在头部处于各种位置时，用肌张力计时仪测定肌张力或时值，是可以获得证明的。一般来说，头转动时头转向一侧的伸肌时值缩短，而另一侧的伸肌时值延长。

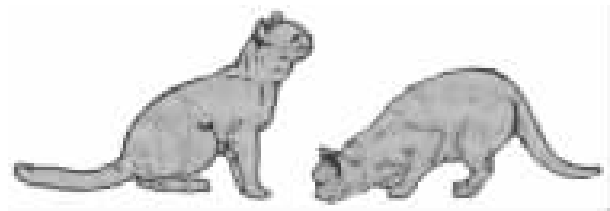


图 15-1 猫的头部位置反射示意图

头上仰时，前肢伸肌紧张性加强；头俯下时，前肢伸肌紧张被抑制

在某些体育动作中，也需要利用这种先天的状态反射。例如，举重提杠铃至胸前瞬间要迅猛地头后仰以反射性地使肩背伸肌的力量增大，把杠铃举过头部。又如体操运动员在平衡木做动作时，头部位置不正，就会使两臂伸肌力量不一致，身体随之失去平衡，常常导致动作的失误或无法完成动作。再如棒球运动员接球时，转向接球手侧，使接球臂尽量前伸，而另一臂即放松，如图 15-2 所示。



图 15-2 符合姿势反射的运动姿势

但必须强调指出，任何体育动作技能都是在大脑皮层参与下实现的，在某些动作中，甚至可以表现出相反于状态反射的规律。例如，快速骑自行车时，为了减少阻力而使躯干前俯，但头仍后仰以注视周围环境。从先天的状态反射来分析，头后仰要反射性地引起背部伸肌紧张性升高，这样，躯干就不能前俯而只能后仰。在刚开始学习骑自行车时，确实是头后仰时躯干也后仰，通过学习训练后才能做到头后仰而躯干前俯。

（圆）翻正反射。当人和动物处于不正常体位时，如被推倒或由空中仰着下落时，能迅速翻身起立而恢复其正常姿势，这类反射总称翻正反射。翻正反射比状态反射更为复杂，有赖于中脑的协调，如将中脑动物（猫）四足朝天从高处掷下，可观察到动物在下坠过程中，首先是头部扭转，继而是前肢和躯干也随之扭转，最后后肢也扭转过来，当下坠到地面时先由四足着地。这一翻正反射实际上是由一系列反射组成的，主要是由于头部位置不正常，视觉与耳石器感受刺激，从而引起头部翻正；头部翻正以后，头与躯干的相对位置关系不正常，使颈部关节韧带或肌肉受到刺激，从而使躯干翻正。在人类，由视觉引起的翻正反射最为重要。

在体育运动中，有许多动作就是在翻正反射的基础上完成的。例如，跳水、体操运动中的转体动作，都是先转头，再转上半身，然后转下半身。又如，篮球转身过人的动作，要先转头以带动身体，这比整个身体一起转动更迅速且协调。

（猿）旋转运动反射。人体在作主动或被动旋转运动（即发生角加速运动时），将刺激半规管壶腹嵴上的感受装置，反射性地引起眼外肌、颈肌和四肢肌张力的改变，以恢复正常体位而产生的反射活动。例如，在弯道上跑步时，身体向左旋转，将反射性地引起躯干右侧肌张力增加，这样在一定范围内，有利于人体保持空间姿势。

⑤ 直线运动反射。人体在主动或被动地发生线性运动(如上升、下降或直线运动)中突然加速或减速时,即发生肌肉张力重新调配以恢复常态的反射活动。直线运动反射有升降反射和着地反射两种形式。

① 升降反射。人体沿上下方向直线加速或减速运动时,内耳耳石器官受到刺激,反射性地引起肌张力重新调整的活动。人在乘电梯升起或降落的瞬间,会引起四肢肌张力发生相应的变化。在电梯上升的始动瞬间,人会感到腿不由自主地弯曲,在电梯停止的瞬间,腿会不由自主地伸直;在电梯下降时肌张力的变化相反,即开始时腿伸直,停止时腿弯曲。

② 着地反射。猫从空中腹部向下下落时,在着地的一刹那,前肢伸直紧张性加强,前肢脚趾分开,后肢弯曲,以保持身体重心,减少震动,这种反射叫着地反射,也是在直线加速运动中耳石器官受到刺激的结果。人从高处跳下时也有这种反射。这种反射是先天的,不需要训练就能出现。在运动实践中有时可以看到,例如体操运动员由于动作失误从器械上跌落下来,往往反射性地用臂撑地,易引起鹰嘴骨折。所以,单靠先天反射,对自身保护来说是不完善的,只有通过训练建立新的条件反射,如跌倒时做团身滚翻动作,加强对自身的保护,避免出现伤害事故。

四、高位中枢对肌肉活动的控制

基底神经节和小脑对肌肉活动的控制

(一) 基底神经节在运动控制中的作用

在哺乳类动物,由于大脑皮质的高度发达,基底神经节居皮质下的中枢地位,具有控制肌肉运动的功能,并与丘脑、下丘脑联合成为本能反射的调节中枢。

① 控制肌紧张使肌肉活动适度。当基底神经节损害时,使肌紧张及运动动作表现两类不正常状况。一类是具有运动过多而肌

紧张不全的综合症。例如，舞蹈病与手足多动症患者表现为不自主的上肢和头部的舞蹈样动作，并伴有肌张力降低等。另一类是具有运动过少而肌紧张过强的综合症，例如，帕金森病的患者表现为震颤、肌紧张过高、肌肉强直、随意运动减少、动作缓慢、表情呆板。

②参与随意运动的稳定。实验中，记录基底神经节的苍白球单个神经元放电活动时观察到，当肢体进行随意运动时，神经元的活动发生明显的变化，有的神经元在肢体屈时放电增加，有的则在肢体伸展时放电增加，说明基底神经节与随意活动有关。

③与运动程序有关。基底神经节协助把联络皮质产生的运动计划转变为运动程序，由运动程序控制运动的执行中枢，基底神经节对于某些慢动作的产生与执行有特别意义。

（圓 小脑

小脑和基底神经节都是同躯体运动协调有关的脑的较高级部位。由大脑下行控制躯体运动的锥体外系包括两大途径：一是经小脑下行；另一是经基底神经节下行。这两条途径最后都通过脑干某些核团而作用于脊髓运动神经元。

①维持身体平衡。当将猴的小脑绒球小结叶单独切除后，其四肢动作并无缺陷，但身体的平衡将出现明显的扰乱，如强迫它行走时，可出现身体摇摆不定，不给予扶持就会向一侧倾倒。因此，可以推测小脑的这一部分的功能是维持身体平衡的。

②调节肌紧张。实验证明，用电流局部地刺激一侧小脑的不同部位，能抑制不同部位肌紧张，说明小脑对肌紧张起调节作用。

③管理姿势和动作。小脑皮层损伤时所表现的症状可分为两大类：一为姿势的扰乱，另一为行动的扰乱。姿势扰乱的主要症状是肌肉缺乏紧张性，损伤侧的身体肌肉，特别是四肢部，表现为松弛无力。如病人的手臂可以被提起任意摇荡，这说明小脑对

人的随意运动有协调共济作用。

图 脑皮层对躯体运动的控制

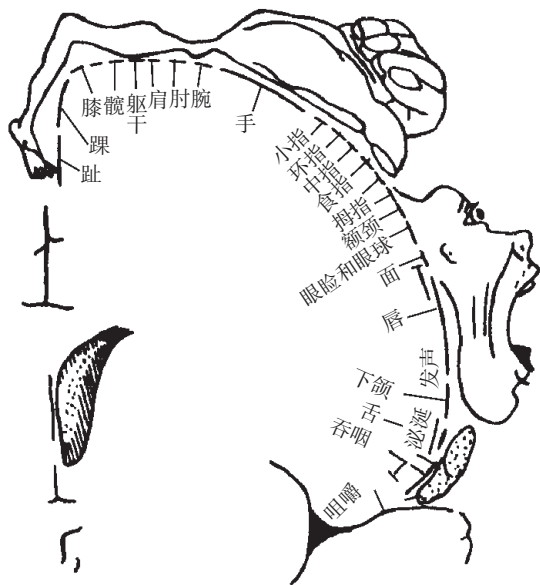


图 人类大脑皮层中央前回躯体运动代表区示意图

(员 大脑皮层的主要运动区。实验早已确认，大脑皮层的某些区域与躯体运动的功能有密切相关，这些区域称为皮层运动区。如灵长类动物，运动区位于大脑皮层中央前回的 源区和 远区，运动区有下列的功能特征：①对躯体运动的调节支配具有交叉的性质，即一侧皮层主要支配对侧躯体的肌肉，但亦有例外，如咀嚼运动、喉部运动及脸上部运动肌肉的支配就是双侧性的。②具有精细的功能定位，其定位安排呈身体的倒影，下肢代表区在顶部（膝关节以下肌肉代表区在皮层内侧面），上肢代表区在中间部，头面部肌肉代表区在底部（头面部代表区内部的安排仍是正立而不倒置）。③功能代表区的大小与运动的精细复杂程

度有关，运动愈精细而复杂的肌肉，其代表区也愈大，手与五指所占的区域几乎与整个下肢所占的区域大小相等。④刺激所得的肌肉运动反应单纯，主要为少数个别肌肉的收缩，甚至只引起某块肌肉的一部分发生收缩，因此不发生肌肉群的协同性收缩，如图 10-15 所示。

（四）大脑皮层主要下行传导通路

大脑皮层对躯体运动的调节功能，是通过锥体系和皮质起源的锥体外系两条下行通路而完成的。

①锥体系。在大脑皮层中央前回 的 源区及邻近 远区的第四、五层内排列着大锥体细胞，这些细胞的轴突组成称为下行的锥体系。其下行途径分两支：一支在延髓锥体交叉到对侧，然后下行经中间神经元支配脊髓各段的运动神经元，此称皮质脊髓束。另一支从皮质运动区到达脑干，分别支配头面部肌肉的运动神经元，又称皮质脑干束。

在锥体系中起自第 源区的纤维约为 1/3，起自 远区的约占 2/3，而其余 源区则发自顶叶。这些纤维中大锥体细胞的轴突最粗，它们的下行纤维末梢直接终止在脊髓前角，支配那些参与肢体末端精细运动肌肉的 α 运动神经元。锥体系中其他大部分纤维则和脊髓中间神经元构成联系。

②锥体外系。皮层起源的锥体外系是大脑皮层控制躯体运动的另一下行传导通路。锥体外系的皮层起源比较广泛，几乎包括全部大脑皮层，但主要来源是额叶和顶叶的感觉运动区和运动辅助区。因此，皮层的锥体系和锥体外系的起源是相互重叠的。皮层锥体外系的细胞一般属于中、小型锥体细胞，它们的轴突较短，离开大脑皮层后终止于皮层下基底神经节、丘脑、脑桥和延髓的网状结构，通过多次神经元的接替，最后下达脊髓，控制脊髓的运动神经元。锥体外系对脊髓反射的控制常是双侧性的，其功能主要与调节肌紧张、肌群的协调性运动有关。

综上所述，高级中枢对躯体运动的控制命令是经由锥体系和锥体外系两条途径把信息传递到脊髓，再由脊髓中 α 运动神经元这一最后公路引起肌肉运动的。在这里，锥体系是直接通路，而锥体外系沿途与许多中枢神经细胞相互有神经联系，组成一个复杂的控制整合系统。

第三节 摇运动时神经系统对人体功能的整合

当人体从事体育活动或劳动时，不仅身体各肌群之间、肌肉活动与内脏活动之间，以及各内脏活动之间，表现出同时性和继发性配合协作一致的现象，而且躯体反射性反应和内脏反射性反应的性质和强度与运动的性质和强度相适应。这种协作和适应的关系，都是通过中枢神经系统的整合功能而实现的。换言之，在运动的过程中，身体各个部分的感受器将内外环境变化的有关信息传入相应中枢，通过各级中枢的整合，使得躯体运动和内脏活动能够适应运动和劳动的需要。

一、运动时人体功能活动的整体性

人体运动时，特别是从事剧烈的、较长时间的或比较复杂的运动时，人体各个器官都参与运动。运动中，运动器官是运动的具体执行者，通过一定肌群有序的交替舒缩，使肢体在一定姿势的基础上产生位置移动，完成一定的机械功，从而实现各种形式的运动。在运动器官运动的同时，内脏器官（血液、呼吸、循环、排泄等）的活动也相应增强，为肌肉活动提供足够的能源物质、清除代谢产物和维持内环境的相对恒定。在神经体液的调节下，躯体的活动既协调运动，同时使得内脏活动与躯体活动相匹配。可见，中枢神经系统的整合作用，是这种人体功能活动的整体性得以实现的关键。这种整合作用的意义体现在：（员 使

运动中肌群的募集数量、次序以及肌群间相互协调的关系与运动形式和运动强度相适应，保证肌群的舒缩按照严格的时间和空间次序进行，使肢体的运动幅度、力度和移动速度适合于运动中各个阶段的需要；(圆 使内脏器官的活动水平与运动的需求相适应；(猿 使得运动符合一定的规格，并能根据运动中不断变化的状况（如运动环境、运动强度和动作形式的变化等），适时地对躯体运动、内脏活动以及代谢水平作出调整；(源 在恢复期调整机体的活动水平，促进机能能力的恢复。

在整合的过程中，神经系统和内分泌系统相互配合，共同完成对人体机能的调控。例如在剧烈运动过程中，交感神经兴奋，同时肾上腺髓质的分泌活动加强，因此将其称为交感—肾上腺髓质系统。在环境急剧变化时，这一系统的活动性增强，儿茶酚胺对心脏的兴奋和外周阻力血管、容量血管的调整可使组织供血更充分、合理；同时抑制胰岛素分泌，刺激胰高糖素分泌，进而升高血糖以增加组织的能源供应。比如，交感神经活动增强，可使肌肉的毛细血管扩张、内脏毛细血管收缩，使得肌肉的血流量增多；同时静脉和微动脉收缩，回心血量增加，加之心率增加，心脏收缩力增强，因此心输出量增加；支气管扩张，有利于气体交换；肝糖原分解加速，血糖浓度升高，为肌肉活动提供更多的能源物质和运输代谢产物。

二、运动时内脏功能与肌肉活动的调节

运动时循环功能的变化与调节

运动时循环系统功能的主要变化是心输出量增加和血液的重新分配，使活动加强的器官，特别是肌肉的血流量增多。

(员 运动时心输出量的变化

肌肉运动时，机体的代谢率提高，这就要求更大的心输出量以满足运动肌肉的要求和运输代谢产物。代谢率通常以摄氧量来

表示。肌肉运动时心输出量的增加主要通过心肌收缩力、心搏频率和外周静脉的紧张性等各种调节机制所起的整合效应。这种整合效应可以从人体在逐级递增负荷运动时，心率、每搏心输出量与每分心输出量三者间的关系予以证实（图 4-10）。

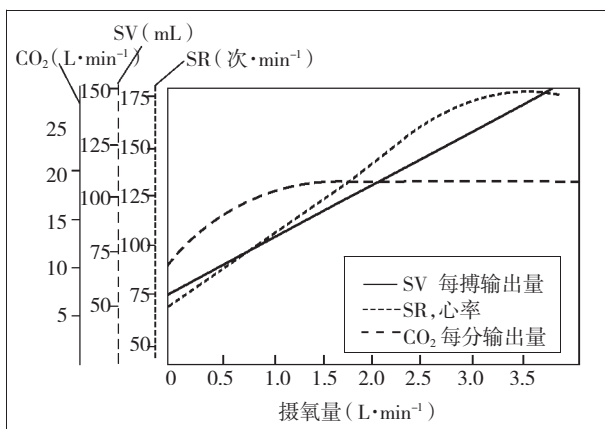


图 4-10 运动时摄氧量、心输出量、每搏输出量和心率的关系

从图中可以看出，运动一开始心率和每搏输出量同时增加，因此心输出量增加。当运动强度达到心率 $150 \text{ 次} \cdot \text{min}^{-1}$ （ $150 \text{ 次} \cdot \text{min}^{-1}$ ）时，每搏输出量就达到个体的最大值，即使运动强度进一步增加，每搏输出量也保持在最高水平，此时心输出量的增加完全依靠心率的增加而增加，直到个体的最大心率。

（四）运动时血液重新分配

运动时，心输出量增加，但增加的心输出量并不是平均分配给各个器官。肌肉中血管由于代谢产物增加、骨骼肌交感舒血管神经兴奋，以及肾上腺素等作用而发生扩张，所以增加的心输出量有很大一部分被分配到运动肌肉。冠状动脉由于局部代谢产物增加，血流量有所提高，而其他不活动器官，虽然在缩血管中枢兴奋时紧张性提高，但由于动脉血压升高、血流加速，仍能获得

足够的血量以适应代谢的需要。

此外,在运动初期,皮肤血管收缩,血流量降低;随着运动肌肉的产热量增加、体温升高等因素,通过下丘脑的体温调节机制,引起皮肤血管舒张,以促进散热。而肌肉局部温度的提高,可使肌肉内血管平滑肌紧张性进一步降低,有利于肌肉血流量的增加。

据研究,骨骼肌最大强度运动时,血流量可比安静时多近 缘倍,心脏血流量可增加近 缘倍。另外,有人推算在剧烈运动时由于内脏器官、皮肤和不参与运动肌肉的血管收缩,可从心输出量中省出约 猿缘% 的血,分配到参与运动的肌肉中。

猿 运动时动脉血压的变化

运动时心输出量显著增加,收缩压成直线上升,但运动对舒张压和平均动脉压的影响不如收缩压明显。需要指出的是,不同形式的运动对血压的影响也不同。

当从事动力性工作时,由于每搏输出量增加,因此收缩压明显增加,而由于骨骼肌的血管舒张,其他不运动器官的血管收缩,由于骨骼肌几乎占体重的 员缘% 因此,外周阻力的变化不大,舒张压不变或略有下降。

四 运动时呼吸的变化

人体在接受准备运动暗示时,呼吸活动往往就已经增加,这种变化属于赛前状态,是条件反射的结果。运动开始后,肺通气先骤然增加到一定水平,继而继续缓慢上升,并在 猿~ 源皂灶内达到稳定,此时潮气量和呼吸频率增加的程度与运动强度有关。运动时潮气量可从安静时 缘皂灶上升到 圆缘皂灶以上,呼吸频率由 员圆~ 员缘次·皂灶⁻¹增加到 缘次·皂灶⁻¹左右,肺通气量可从安静时 远~ 愿皂灶·皂灶⁻¹增加到 员圆~ 员缘皂灶·皂灶⁻¹,甚至可达 圆缘皂灶·皂灶⁻¹,是安静时的 缘倍左右。当运动强度保持不变时,肺通气反应亦达稳态。运动终止后,肺通气量突然下降到一定高

度，然后缓慢恢复到运动前水平。运动时呼吸加深、加快的原因是多方面的，最重要的原因可能是肌肉本体感受性冲动对呼吸中枢的强烈刺激作用。有人认为，大脑皮层和下丘脑等高位中枢在发动冲动引起肌肉活动的同时，还发出冲动到达脑干，引起相应的呼吸和心血管反应。此外，肌肉运动时产热量增加，体温升高，通过下丘脑的体温调节机制引起呼吸加深、加快。运动时，会产生大量的 代谢物，消耗更多的 氧，从而使得静脉血 氧分压降低，这种变化将刺激外周化学感受器，引起通气增加。另外，长时间、大强度运动时，血液中乳酸浓度升高，通过刺激外周化学感受器而使得呼吸进一步加强。

消化功能的代偿性调整

运动时，为了使活动肌得到更多的血流量，其他器官就要作出代偿性的调整，这种代偿性调整在消化系统表现得尤为显著。代偿性调整对自身功能的影响，取决于这些器官将多少血转让给肌肉，以及减少的血流量是否能够满足运动的需要。例如，小强度的活动，如步行，还不致对消化和胃排空时间造成影响，但进行如 猿猴 等中等强度慢跑等运动时，消化变慢，胃排空时间延迟。

剧烈运动时，交感神经高度兴奋，引起腹腔内脏器官的血管收缩，肌肉中的血管舒张，血液进行了重新分配，大量血液流入肌肉，保证剧烈运动时肌肉工作的需要。腹腔器官血管的收缩，供给消化器官的血量减少，因而消化腺的分泌活动减弱。同时，副交感神经的活动抑制，兴奋性减低，胃肠活动受到限制，消化能力下降。因此，饭后马上进行剧烈运动，或是在剧烈运动后立即进餐，都对消化功能有不良影响。

三、反馈在运动协调中的作用

人体任何运动反射活动都包含着返回冲动，形成回路的神经

联系，即反馈的神经联系。在实现反射的过程中，中枢神经系统对效应器的控制要适应于整个控制系统和效应系统的不断变化，必须经常接受来自效应器、感受器的传入冲动来进行调整。

反射活动的反馈性调节在实现人体活动的协调中有着重要的作用。当一个刺激发动一个反射后，效应器的活动必然又刺激本身或本系统内的感受器发出冲动传入中枢。这种传入冲动对维持与矫正反射活动的进行有重要作用。实际上，每一个反射活动都是链锁反射，一个刺激发动一个反射后，反射的效应又成为新的刺激，引起继发性反射活动，使反射活动呈链锁式进行下去。实验证明，切除大量传入神经后，反射活动就不能很好地完成。同时，肌肉的本体感受性传入冲动在运动协调中也有重要作用，如，跑步时，运动员腿的蹬地角度和力量、臂的摆动幅度等要符合动作要领，这有赖于运动肌肉和关节囊、韧带等处本体感受器的反馈传入信息，及时发现和纠正错误。在训练课中，运动员就是一次次地根据本体感受性传入冲动，反复感受自己完成动作的效果，逐渐建立起正确的肌肉感觉，从而实现动作的协调。除了效应器本身的感受装置发出的传入冲动对反射活动的协调作用外，其他感受反射效应的感觉器官也发出冲动进入中枢，不断控制着反射活动的进行，如视觉、听觉、皮肤触压觉和平衡觉等，能不断感知躯体运动反射的效果，失去这些传入冲动的作用后，反射活动的效果将受到很大的影响。

思考题

圆什么叫特异性和非特异性感觉传导系统？有何生理功能？

圆视觉是怎样形成的？视近物时眼是怎样调节的？

圆试分析前庭器官的功能及其在体育运动中的意义。

圆如何提高前庭功能稳定性？

圆听觉是如何产生的？

问题 何谓突触？简述突触传递的过程。

问题 简述 兴奋和 抑制的产生过程。

问题 简述兴奋在中枢传递的特征。

问题 牵张反射有哪些特点？举例说明它在运动实践中的意义。

问题 人体状态反射的规律是什么？举例说明它在完成运动技能时所起的作用。

问题 运动中中枢神经系统的整合功能体现在哪些方面？

当赛场上出现不利因素时的心理暗示

问题 直道跑比赛遇到顶风时

体重轻的选手心理暗示：体重轻，迎风面肯定是最小的，跑步时我比任何选手遇到的风阻都小。顶风，对我非常有利。

体重大的选手心理暗示：体重大，力量肯定是最强的，力量型选手比其他任何选手都更容易克服风的阻力。风越大，对我越有利。

问题 弯道跑抽到最外道签时

它比其他任何一道都接近直道，是最好跑的一个道次。另外，我还便于观察所有的对手们，眼睛稍稍往左一瞟，一切了如指掌。

问题 弯道跑抽到最内道签时

第一道的计算线比其他道次都远离内沿 问题 如果我尽量贴近内沿跑，就可以比其他选手少跑些距离。何况跑的时候我与他们的距离越来越近，这样将使我越跑越有劲。

问题 当对手跳（或投）完一次感到满意而欢呼雀跃时

看来，他（她）已经达到其最高水平，再也没戏了，接下来就看我的了。

问题 与实力相当的对手比赛因思想紧张，两次试跳（或试投）均失败，只剩下一次机会时

看来败局已定。索性不管它三七二十一，鼓足全力，犯规了也要跳（或投）出好成绩，向观众、裁判及对手们证明一下我的实力。

问题 器械投掷选手遇到阴雨天场地较滑时

教练曾专门让我在这种又湿又滑的场地上练习过，这下可派上用场了。看来今天的场地只有我一人适应了，越滑对我越有利（注：平时一定要多在这种场地上进行适应性练习，此暗示才能奏效。）。

殒喀场比赛或对方拉拉队声势浩大时

这种场面只能给对方增加思想包袱，因为观众对他们的期望值太高了。相反，我们没有更多的支持者，可以轻装上阵，再好不过了。

殒耐手打破纪录时

看来今天是个创纪录的最佳时机，我也定能创造个人最好成绩（注：如果是投掷比赛，最好使用破纪录时的那个器械，暗示效果更好。）。

殒遇到的对手是个水平高的知名运动员时

我可以在没有压力的情况下比赛。没有压力正是创造优异成绩的最佳条件，况且“克拉克现象”、“布勃卡现象”不是经常发生吗？奇迹可能就在今天。

殒遇到对手暂时领先时

胜利容易冲昏头脑，易产生“骄傲、轻敌”的情绪，这是最起码的规律。此时正是我全面反击的最佳时机。

选自《中国学校体育》 殒殒年 第 殒期

摇摇还能想起自己学步时摔倒了多少次？学游泳时第几次下水才能漂起来？每个人的运动能力不同，学习运动技能的过程也有快有慢，但都会遵循同样的学习规律。我们只有在认识和掌握这些规律后，顺应这些规律进行运动技能的学习，才能使体育教学和训练变得更有趣、更有效。

第十一章摇运动技能的形成

运动技能是指人体运动中有效地掌握和完成专门动作的能力。这种能力包括大脑皮质主导下的不同肌肉的协调性。换言之，运动技能就是指在准确的时间和空间里正确运用肌肉的能力。运动技术水平的提高，在于运动技能的不断改进和创新。目前，阐明与解释运动技能的形成机制主要与巴甫洛夫创立的条件反射学说有关。

第一节摇条 件 反 射

反射活动是中枢神经系统的最基本活动形式，反射活动分为非条件反射和条件反射。非条件反射是机体固有的，如防御性反射、婴儿的吸吮、吞咽反射。条件反射是机体在其生活过程中一定条件下形成的，具有更大的易变性和适应性。

一、条件反射的形成

条件反射实验，是俄国生理学家巴甫洛夫创立的。如给狗吃

食物，会引起其唾液分泌，这是非条件反射，所给食物为非条件刺激。而单独给铃声，则不会引起唾液分泌，此时铃声为无关刺激。但对狗进行训练，将无关刺激与非条件刺激多次结合（即给狗听铃声后吃食物），这种结合过程称为强化。经多次强化后，单独的无关刺激（铃声）也能引起反射活动（唾液分泌），这时的无关刺激已变成了进食的信号，称为条件刺激。由条件刺激引起的反射活动，称为条件反射。相应地由非条件刺激引起的反射活动称为非条件反射。所以，任何无关刺激只要与非条件刺激在时间上多次结合，使某一无关刺激成为某一非条件反射的信号，就可以建立起条件反射。

二、条件反射形成的机制

巴甫洛夫从理论上阐明了随意运动的生理机制是一种暂时性的神经联系。非条件反射的结构基础（反射弧）是机体生来就已接通的固有联系，条件反射是以非条件反射为基础而形成的。因此可以想象，在条件反射形成后，条件刺激的神经通路与非条件反射的反射弧之间必定发生了一种新接通的暂时联系（图 11-1）。当动物进食时，舌的味觉感受器受刺激而产生冲动，冲动沿神经传到延髓的唾液腺传出神经元的胞体，再由传出神经将冲动传到效应器唾液腺，引起唾液分泌，这是非条件反射。如喂饲动物并伴以铃声，则铃声刺激由听觉感受器传入，再经大脑皮层听觉中枢引起兴奋。这种兴奋与进食的非条件反射是无关的，但由于它们多次结合强化，故这两个中枢之间形成了暂时联系，于是就出现了条件反射。

三、条件反射的分化

当条件反射建立后，如果反复应用条件刺激而不给予强化（如给狗听铃声而不给食物），条件反射就会逐渐减弱，最后完

全不出现，称为消退抑制。消退抑制在体育教学与训练中具有重要的意义。例如在教学中，对已经掌握的动作，如果不再进行练习（相当于不强化），该动作会出现生疏以至不能完成。

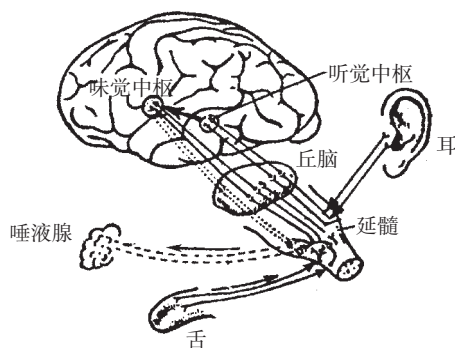


图 员 员 员 对声音刺激的唾液分泌性食物条件反射的反射弧示意图

在条件反射形成的初期，除条件刺激本身外，那些与该条件刺激相近似的刺激也或多或少地具有条件刺激的效应，这就是条件反射的泛化。如果只对条件刺激给予强化，与条件刺激相近的刺激不给予强化，那么随着条件反射的巩固，泛化的范围会越来越小，最终只对条件刺激才产生反应，称之为条件反射的分化。在学习运动动作时，通过对正确动作的强化（肯定）和对错误动作不强化（否定），可加速正确动作的掌握。

四、大脑皮层的动力定型

大脑皮层对外界的一系列固定形式的刺激，形成一整套固定形式的反应，称之为大脑皮层的动力定型。动力定型建立后，运动员在运动技能上将表现出习惯地、娴熟地完成一整套动作的特点。

五、条件反射的生物学意义

非条件反射与条件反射的根本区别，在于非条件反射是先天的本能行为，而条件反射是后天获得的行为，是以非条件反射为基础而建立起来的比较复杂的行为；在数量上，非条件反射是有限的，而形成条件反射的可能性却是无限的；在质量上，非条件反射是固定的、刻板的、简单的，而条件反射则有极大的易变性，可以新建、消退、分化和改造。因此，非条件反射只有有限的适应性，而条件反射则可使动物和人具有更完善的适应性。

第二节 摇运动技能的形成

运动技能是人体在运动过程中通过学习而获得的技能，它是在大脑皮层参与下实现的随意运动。

一、运动技能的条件反射本质

运动技能的生理学本质是建立在条件反射的基础上的。学习和掌握运动技能，就是建立运动条件反射的过程。

例如，学习体操中的跳马近端水平腾跃，该动作是由助跑、踏跳、撑马、腾越、落地等一系列单个动作组合而成。学习这套动作时，学生首先要做模仿练习。在练习时，许多感官的传入冲动参与运动技能的形成，如视觉判断助跑距离和马的高度、位觉感知踏跳后身体的空间方位、触觉感受地面硬度和推马力量、本体感觉感知肌肉用力大小和空间的姿势等。这些传入冲动按一定的时间、顺序传到大脑皮层相应代表区，并经过反复强化，使各有关感觉中枢与运动区的神经细胞发生暂时联系，即形成了运动技能。可见，运动技能不同于简单的运动条件反射，它是复杂的、连锁的、本体感受性的运动条件反射。

二、运动技能形成过程及其影响因素

运动技能形成的过程

运动技能形成的过程是一个连续的、渐进的过程，在这一过程的不同阶段有着不同的特点。通常将运动技能形成过程分为泛化、分化、巩固和自动化四个时相。

(员 泛化过程。学习一个新动作的开始阶段，其表现为动作僵硬、不协调、有多余动作、动作不连贯、能量消耗多等。这是由于大脑皮层内有关中枢的神经元强烈兴奋，同时大脑皮层内抑制尚未建立起来，导致泛化现象出现。在此阶段，教师应通过正确的示范和形象的讲解使学生建立正确的动作概念，要注意突出重点，强调掌握动作的主要环节，不宜过多要求动作的技术细节。

(圆 分化过程。是指经过不断练习，能比较顺利、连贯地完成完整动作的阶段，但这时易受新异或强烈刺激的干扰，如旁人的议论或在观摩课上做动作时，动作不协调、多余动作等现象又会重现。分化相时大脑皮层的兴奋和抑制过程逐渐集中，分化抑制得到发展。所以，运动技能学习在进入分化相时，要特别注意错误动作的纠正，强调对动作细节的要求，加强对动作的分析和思考，以促进分化抑制的进一步完善。

(猿 巩固过程。其特点是通过反复练习，不仅动作准确、协调，动作的细节也准确无误。在这一阶段，当环境条件改变和其他干扰刺激出现时，动作也不易受到破坏。此时大脑皮层的兴奋和抑制过程在时间和空间上更加集中和精确，形成运动动力定型。运动技能进入巩固相后，如停止或减少练习，巩固了的运动技能会消退，技术越复杂、难度越大的运动技能消退速度越快。因此，一定要强调练习的经常化和精细化。

(源 自动化过程。其现象是随着运动技能的巩固和发展，

动作会更加熟练自如，可在“低意识控制”下完成运动技能，即出现自动化，如篮球运动员的运球动作等。在达到动作自动化后，如果环境变化使自动化过程受到阻碍，动作将重新在意识的指导下进行。篮球运动员如运球时遇到对方的堵截，自动化动作立刻变成有意识动作，以应付突然的变化。动作自动化后，工作效率提高，出现“能量节省化”。但动作自动化是在“低意识控制”情况下完成的，如果动作发生少许变动和误差，往往不被觉察，重复多次，不规范的动作就会被巩固下来。因此，在动作自动化后仍应坚持练习，不断检查动作质量，以使动作精益求精。

圆影响运动技能形成的因素

影响运动技能的因素很多，如动作的难易程度、学生的身体素质和技术水平、教师的教学技巧等，这些都会影响到运动技能的形成和发展。

(员 大脑皮层的兴奋状态。当大脑皮层有关学习部位达到适宜的兴奋状态时，最容易建立暂时性神经联系，故可以缩短运动技能形成过程。兴奋性过强或过弱均不利于运动技能的形成。皮层兴奋性过高，兴奋容易扩散难于集中；皮层兴奋性过低，则条件反射难于接通。

(圆 利用直观、形象的教学。在开始学习动作时，要充分利用直观、形象的教学，加强示范和模仿动作练习。体操、舞蹈等教学可采用对镜练习。尽可能把幻灯、录像、多媒体等教学手段运用于教学中，让学生由粗及细地了解一个动作应该怎样做、不应该怎样做。注意运用语言反馈，以促进学生对动作的理解和掌握。

(猿 强调身脑并用。在形成运动技能的过程中，只有通过不断的身体练习，才能使运动条件反射得到强化。但除了身体练习之外，一定要强调多思考、自我分析和检查动作的正确与错

误,还可以通过想象和回忆练习提高教学效果。想象练习虽然只是在头脑中进行,但同样可以使这一运动技能的暂时联系再接通一次,即等于接受了一次强化,因此可促进运动技能的发展。

④ 消除防御性反射。在教学训练中,初学者,特别是一些胆怯的学生,对一些难度较大的运动技能,经常会有害怕心理和产生防御性反射。初学时可适当降低动作难度或高度,消除学生的害怕心理。通过逐步过渡,在学生对动作有了初步体验后再进入动作要求的练习。有些具有一定难度的动作练习要加强保护措施,消除学生害怕心理,增强完成动作的信心。

⑤ 注意学习动作的顺序安排。在运动技能的学习中,要充分利用运动技能间的相互良好影响,而尽力消除不良影响,加速运动技能的形成。运动技能之间的相互良好影响,表现为前一动作的学习有利于后一动作的掌握,为了促进以后运动技能的迅速建立,可以把基本部分相同的动作编成一组进行教学;相反,运动技能之间的不良影响,表现为前一动作的学习将妨碍后一动作的掌握。例如学习单杠前上技术,对双杠屈伸上技术的顺利掌握就有良好作用;新学蛙泳时,原来所掌握的自由泳双腿打水技术就会妨碍蛙泳蹬水动作的掌握。因此,运动技能的相互影响规律对安排动作教学顺序是有重要意义的。

思考题

① 条件反射学说认为运动技能形成的生理本质是什么?

② 简述条件反射的形成过程、机制和在体育运动中的意义。

③ 简述影响运动技能形成的因素。

④ 运动技能间相互影响的机理是什么?

⑤ 名词解释:

运动技能 泛化过程 分化过程

中长跑运动员临近终点已筋疲力尽时,突出的表现是腿抬不起来,步幅小、步频慢。此时任凭观众的“加油”声和教练员“用力抬腿、蹬地”等之类的技术指导都无济于事。然而,有经验的教练员此时都提醒其“用力摆臂”。运动员如果此时主动加快和加大摆臂动作,就会明显看出他的步频和步幅也随之增大。

运动生物力学告诉我们，跑步的摆臂时，前摆的臂同时也带动了同侧躯干向前移动。由于摆出的臂与躯干的质量前移，摆臂一侧将产生力矩，此力矩的作用将会使身体绕纵轴产生旋转。这种身体上半部分产生的转动，将会刺激连接身体上下部位的肌肉感受器，在它的作用下，使中枢神经系统产生一种引起身体下半部分发生补偿动作的“姿势反射”，即反射地使摆臂异侧的腿和髌前摆，并使腿、髌质量前摆时产生的力矩与上肢摆臂一侧产生的力矩相等，亦即摆臂的加大，必然引起摆腿动作的加大。这样，可以抵消了使身体上半部分转动力矩的作用，保持了身体平衡，形成了一种以脊柱纵轴为旋转轴的上下肢的相向运动。与此同时，对侧肢体的肌肉也由于向相反方向摆动而被拉长了，又为下一次动作做了充分准备，从而促进了步频的发展。

跑步中的摆臂与摆腿动作是相辅相成的，摆臂可促使摆腿，摆腿也可促使摆臂，而且在一定限度内摆臂或摆腿的频率和幅度的增加会促使步幅或摆臂的加快和增大。由于跑步时上肢的能量损耗比下肢少，臂的力量相对容易动员些。尤其是中长跑临近终点已筋疲力竭时，为了提高冲刺能力，此时要求加大摆臂的动作无疑地会比要求用力抬腿和蹬地容易得多。若此时加大了摆臂的用力动作，如前所述，为了保持身体平衡必然产生补偿动作，引起腿前摆幅度和速度的增大。摆腿幅度和速度的提高，又会加大蹬地腿对地面的压力，迫使蹬地腿蹬地力量的增强，步幅也随之而增大。

因此，当中长跑临近终点时，要求用力做摆臂动作来提高冲刺能力，是一种较科学的指导方法。

摇摇生命在于运动。不管这一命题究竟是 1800 年前年的希腊哲学家亚里士多德所提，还是 1844 年前法国作家伏尔泰所倡导，它确实是一语道破天机，揭示了生命的奥秘所在。运动的确有很强的预防疾病的作用，这好像是一个毫无争议的话题。可是，大量流行病学调研结果都支持这样一个结论：运动员在大运动量训练期间患感冒率明显超过正常人。这究竟是因为什么？

第十二章 运动与免疫机能

免疫机能是人体重要的防御机能，也是人体体质的代表性指标之一。不同运动负荷对人体的免疫系统机能会产生不同的影响。因此，了解运动对免疫机能的影响，对更好地推广、宣传和实施全民健身计划，科学安排训练与比赛，使运动员在承受最大负荷的同时保持身体健康，挖掘运动员的最大潜能，延长运动员的运动寿命都具有非常重要的意义。自 19 世纪 80 年代起，运动免疫研究已经成为运动生物学中最活跃的研究领域之一。

第一节 运动免疫系统概述

一、免疫的概念

1. 免疫

免疫的原意即为“免除瘟疫”之意。人类对免疫的认识是从研究机体对传染病的抵抗力开始的。人们早就发现，在传染病

流行的过程中，患病后幸免于死的人，以后会对该病有抵抗力，当该种传染病再度流行时可以安然无恙。在相当长时间里，在人们的概念中，免疫就是机体抗感染的能力，并且对机体都是有利的。随着对免疫认识的不断深入，人们发现：免疫不一定是病原因子所引起；免疫功能不仅仅局限于抗感染；免疫的后果并不总是对机体有利。

目前对免疫概念比较完整的表述是：免疫指机体接触“抗原性异物”或“异己成分”后所引起的一种特异性生理反应，其作用是识别与排除抗原性异物，以维持机体的生理平衡。这些反应通常对机体有利，但在某些条件下也可能是有害的。

图 特异性与特异性免疫

(员 特异性免疫。个体在生活过程中，因受病原微生物感染或接种疫苗而获得的免疫称为获得性免疫。因这种免疫一般仅针对所感染的病原微生物或疫苗所能预防的疾病，故又称特异性免疫，人们一般概念中的免疫，均指特异性免疫。

(圆 非特异性免疫。人体对抗原性异物的抵抗力，有些是天生具有的，即在种系发育进化过程中形成的、经遗传获得的，称为先天性免疫。因其并非针对某一病原微生物，故又称非特异性免疫。非特异性免疫由机体的解剖结构与生理功能所体现，如机体的各种屏障结构（皮肤与黏膜屏障、血脑屏障、血胎屏障）、吞噬细胞（中性粒细胞和单核吞噬细胞）及体液和组织中的抗菌物质等。

图 抗原与抗体

(员 抗原

抗原即抵抗的原因。抗原特指的是细菌、病毒、微生物等病原体，即能刺激机体产生抗体的物质。随着免疫学研究的进展，人们逐渐认识到，抗原进入人体后，不仅经淋巴细胞中的 T 淋巴细胞所介导产生体液免疫（产生抗体），而且经 B 淋巴细胞介

导产生细胞免疫。因此，自 20 世纪 60 年代以来，对抗原较为全面、确切的定义为：能够与相应的抗原特异性淋巴细胞上独特的抗原受体结合，诱导该淋巴细胞发生免疫应答的物质。

（四）抗体

抗体是机体受到抗原刺激而产生的特异性糖蛋白，亦称免疫球蛋白，常用的免疫球蛋白指标为 IgG 、 IgM 和 IgA 。它们能与相应抗原结合形成抗原—抗体复合物，递呈有关细胞排灭。抗体一般由 B 淋巴细胞产生，分布于细胞表面、血清和其他体液中。

二、免疫系统的组成

人体免疫系统由免疫器官、免疫细胞与免疫分子共同组成。它们是机体免疫功能及发生免疫反应的物质基础。

（一）免疫器官

免疫器官是免疫细胞分化、增殖与定居的场所，分为中枢免疫器官和外周免疫器官。

（1）中枢免疫器官。骨髓和胸腺能使淋巴干细胞增殖，进行一定程度的分化，成为成熟的免疫细胞并输送到外周淋巴组织定居，因而骨髓与胸腺被称为中枢免疫器官。

（2）外周免疫器官。接受免疫细胞的组织称为外周免疫器官或末梢淋巴组织，包括淋巴结、脾脏和扁桃体等。

（二）免疫细胞

免疫系统的主要功能是识别并排除体内的非己物质，执行此功能的细胞均属免疫细胞。换言之，凡参与免疫反应或与免疫反应有关的细胞统称为免疫细胞。包括淋巴细胞、单核巨噬细胞和粒细胞等。

（1）淋巴细胞

淋巴细胞在免疫反应中起核心作用，其中能接受抗原刺激而活化、增殖分化并发生特异性免疫反应的淋巴细胞称为抗原特异

性淋巴细胞或免疫活性细胞，即 T 淋巴细胞和 B 淋巴细胞。此外，还包括 NK 细胞、巨噬细胞等。其中 T 淋巴细胞主要介导细胞免疫；B 淋巴细胞主要介导体液免疫；NK 细胞能够杀伤被抗体（抗体）覆盖的靶细胞；巨噬细胞能够直接杀伤某些肿瘤细胞或受病毒感染的细胞。

（四）单核吞噬细胞。单核吞噬细胞指血液中的单核细胞和各种组织中的巨噬细胞。这类细胞具有多种免疫机能，包括吞噬和杀伤作用、递呈抗原作用以及分泌作用。

（五）粒细胞。粒细胞包括中性粒细胞、嗜酸性粒细胞以及嗜碱性粒细胞，其中起免疫作用的主要是中性粒细胞。它占白细胞总数的 50%~70%，是机体非特异性免疫系统的重要组成部分，具有高度的移动性与吞噬功能。中性粒细胞被证明是体内最有效的吞噬细胞，而且在入侵病原体的早期控制中起着关键作用。

三、免疫分子

免疫分子包括抗体、补体与细胞因子等。

（一）补体。补体指人与动物血清中正常存在的、与免疫有关的、并可具有酶活性的一组球蛋白。补体并非单一物质，而是包含多种成分的血浆蛋白，故又称补体系统。其中包括了补体激活的成分，也包括调控补体系统的各种灭活因子和抑制因子。补体系统的生物学作用是溶菌、杀菌及细胞毒性作用、调理作用、免疫粘附作用、中和及溶解病毒以及炎症介质作用。

（二）细胞因子。细胞因子主要由淋巴细胞与单核—巨噬细胞所产生，习惯上称前者为淋巴因子，后者为单核因子。实际上其他免疫细胞与非免疫细胞也可以产生，故统称为细胞因子。主要的细胞因子有白细胞介素、B 淋巴细胞刺激因子、淋巴毒素、肿瘤坏死因子、干扰素、集落刺激因子和转移因子等。

机体在对“非己”物质（即抗原）进行免疫反应并加以排

除的过程中，主要通过细胞因子在免疫细胞之间传递信息。从这个意义上讲，细胞因子对于免疫系统，正如激素对于内分泌系统、神经递质对于神经系统一样重要。此外，在神经—内分泌—免疫调节网络中，细胞因子也起着非常重要的介导作用。

三、免疫应答

抗原性物质进入机体后所激发的免疫细胞活化、分化和效应的过程称做免疫应答，也称为免疫应答。免疫应答包括由 T 淋巴细胞介导的体液免疫反应和由 B 淋巴细胞介导的细胞免疫反应。

一、体液免疫

体液免疫主要指由 T 淋巴细胞介导的免疫反应，体液免疫反应过程可分为三个阶段：

(一) 感应阶段。在感应阶段，进入体内的抗原被巨噬细胞捕获，进行吞噬加工处理后，递呈给 T_H 细胞，T_H 细胞受该抗原（处理过的）和白细胞介素 1（IL-1）诱导而活化。

(二) 增殖和分化阶段。T_H 细胞被活化后，发生增殖并释放出白细胞介素 2（IL-2）和 T 淋巴细胞分化因子和 T 淋巴细胞生长因子。其中 T 淋巴细胞分化因子和 T 淋巴细胞生长因子能够使 T 淋巴细胞成熟、增殖并分化成浆细胞。

(三) 效应阶段。在效应阶段进行着两个反应过程。第一，多数 T 淋巴细胞能够成为浆细胞，合成和分泌免疫球蛋白（抗体），然后由抗体直接或间接发挥免疫效应，杀灭进入人体的抗原物质。第二，部分 T 淋巴细胞变为记忆性 T 淋巴细胞，以后若遇相同抗原刺激时可以很快产生相同抗体，并在相当长的时间内维持较高的抗体浓度，这样就对该病原体产生了抵抗力。

二、细胞免疫

细胞免疫通常是指由 B 淋巴细胞所引发的免疫应答反应，

其反应过程也可分为三个阶段。

(员 感应阶段

栽淋巴细胞介导的细胞免疫反应的感应阶段,基本类似于月淋巴细胞介导的体液免疫反应过程的感应阶段。

(圆 增殖和分化阶段

活化的栽细胞开始大量增殖,最终导致激活相应的栽细胞和栽细胞,进入效应阶段。同时,部分栽淋巴细胞分化为记忆性栽淋巴细胞。

(猿 效应阶段

激活的栽细胞发挥特异性的细胞毒性作用,攻击靶细胞(病原体)。一个栽细胞在数小时内可杀伤数十个靶细胞。栽细胞则释放出多种淋巴因子,参与对抗病原体感染的炎性反应等。

第二节 摇运动性免疫机能

运动性免疫机能是指在不同运动负荷作用下,人体免疫机能所发生的动态变化过程和状态,主要表现为免疫机能的抑制、亢奋和相对稳定。

一、运动负荷与免疫机能

运动与免疫机能的关系十分复杂,并非只要运动必然有益于免疫机能。研究已经表明,不同运动负荷对免疫机能会产生不同的影响。适中运动负荷可提高免疫机能,降低感染性疾病的风险,而大强度运动训练则对免疫机能有抑制作用。

圆适宜的中等运动负荷可增强免疫机能

“生命在于运动”的观点深入人心,绝大部分人参加运动的热情都源于运动有益健康。流行病学调研结果最终证明,经常从事适中负荷的运动者比静坐工作者上呼吸道感染的发病率低。有

人让女性受试者每天快走猿缘-猿缘天,每周快走缘天,在冬春季或秋季走缘-缘周,而对照组不做任何体育活动。研究发现,运动组受试者患感冒的天数只占到对照组一半左右;习惯性的运动还可以防止肿瘤的产生;和缓的运动有利于改善慢性疲劳综合症病人的症状。

适中负荷运动期间,免疫系统会发生数种有益的变化:如抑制免疫功能的应激激素和亲炎性、抗炎性细胞因子未见升高。研究认为,每一次适中负荷运动对人体的免疫监视功能都起一定的促进作用,并且似乎会在较长时间内降低机体感染的危险。

总之,每日进行适中运动,可增强免疫功能,降低患病风险。这些研究结果对于指导全民健身有一定实用意义。

圆 过量运动可降低免疫机能

与一般运动爱好者不同,一些优秀的高水平运动员却受到感染性疾病的困扰,从而影响他们的运动能力,甚至终止训练或退出比赛。剧烈运动引起运动员出现运动性免疫机能下降,导致对疾病的抵抗力削弱,是长期困扰教练员、运动员的一个棘手问题。统计资料显示,优秀运动员在大强度训练期、比赛期上呼吸道感染的发生率显著提高。专家认为,运动性低血辜酮症、运动性低血色素、运动性免疫机能低下是影响优秀运动员体能的关键问题。

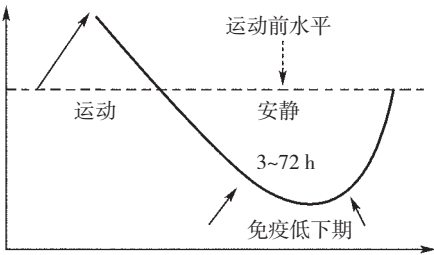
二、运动性免疫模式

目前,较为成熟的运动性免疫模式有两种,即“开窗”理论模式和“允”形曲线模式。前者主要与运动训练引起的免疫抑制有关,后者则形象地反映了不同运动负荷对免疫机能的影响。

圆 “开窗”理论模式

“开窗”理论认为,大强度急性运动时,应激激素的急剧升高以及血流动力发生的急剧变化,导致淋巴细胞等免疫细胞快速

动员入血，使得淋巴细胞的数量在运动期间急剧升高，淋巴细胞亚群比例发生明显改变。大强度运动后，淋巴细胞浓度下降，增殖分化能力及活性降低，免疫球蛋白含量及功能也受到影响，出现免疫低下期，表现为对疾病的易感率升高。据研究，受一次性急性运动影响，免疫低下期可持续猿~72h不等。在这一免疫低下期，各种细菌、病毒等病原体极易侵入人体并导致疾病发生。故一般形象地将这段免疫低下期称为“开窗”期，意为“免疫系统被打开了窗户，病原体可较自由地进入”。因为这时机体的“窗户”未像平常那样“关闭”着将病原体拒之门外，而是将其“打开”放任它们进入人体，故此期间运动员易感率明显上升，如图猿-猿所示。



图猿-猿 “开窗”理论模式

猿“允”形曲线模式

研究证明，人体的免疫功能与运动量、运动负荷和持续时间等有密切关系。不运动者呈一种自然免疫状态，而大负荷、大运动量、较长持续时间且频度较高的运动训练，会抑制免疫机能。在这两极之间，有一适中的运动负荷、运动频度、运动量和持续时间的组合方式，既能有效地提高身体运动能力，又能有效地提高免疫机能。在研究了运动强度与上呼吸道感染率之间的关系后发现，若以正常不运动者的上呼吸道感染率作为参照，适宜中等负荷的经常性身体运动可明显降低上呼吸道感染率，而大强度运

动训练则会使之明显升高。三者相比，形成一条类似“U”形的曲线，如图 5-1 圆所示。

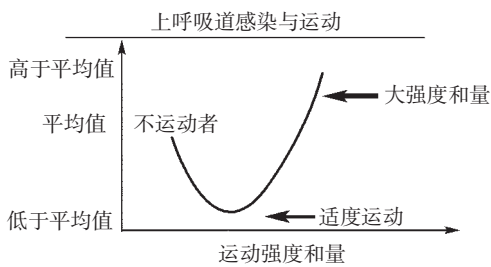


图 5-1 圆 “U” 形曲线模式

第三节 运动性免疫抑制

运动性免疫抑制是指大负荷运动后，由于过度负荷导致机体免疫机能下降的现象。

流行病学调研结果显示，过度训练会降低身体对上呼吸道感染疾病的抵抗力。尤其是在大运动量训练期间，患上呼吸道感染疾病的风险明显升高。

动物和人体实验结果也表明，剧烈运动会降低免疫机能。若长期进行此种运动，免疫机能会逐渐降低，发生越来越严重的免疫抑制现象。表现在免疫细胞数量减少，淋巴细胞转化能力降低，分泌型 IgA 明显减少（标志着抗感染能力降低），细胞因子的生成受到影响，对毒素引起的免疫反应降低等。

一、运动性免疫抑制的可能机理

引起运动性免疫抑制的原因非常复杂，据研究与下列因素的作用有密切关系。

1. 植物性神经系统的作用

中枢淋巴器官与外周淋巴器官接受交感神经、副交感神经的双重支配。植物性神经系统发挥免疫调控效应主要是通过神经末梢释放的神经递质等作用于靶细胞膜上的相应受体。影响作用主要包括：影响淋巴组织与器官血流调控；淋巴细胞的分化、发育、成熟与再循环；细胞因子和其他免疫因子的生成与分泌以及免疫反应的强弱和维持的时间。

研究证实，交感神经兴奋一般引起抑制免疫效应，而副交感神经兴奋一般引起免疫增强效应。运动时交感神经兴奋而副交感神经受到抑制故免疫机能受到抑制。

激素、神经递质等的作用

激素、神经递质、神经肽与细胞因子是对免疫机能具有最重要调控作用的调节物质。从对免疫机能调控作用的角度，可将这些调节物质划分为两大类：免疫增强类调节物质与免疫抑制类调节物质。免疫增强类调节物质主要包括生长激素、促甲状腺素、甲状腺素、催乳素、乙酰胆碱、 β 原内啡肽等；免疫抑制类调节物质主要包括促肾上腺皮质激素释放激素、促肾上腺皮质激素、糖皮质激素、生长抑素和儿茶酚胺等。一般情况下，这两类调节物质在体内相互作用，维持机体正常的免疫反应与免疫适应。

运动时，这两类调节物质相互作用的力量会发生根本性变化。凡是与运动有关的应激激素等调节物质明显增加，而非应激激素等调节物质则处于相对抑制状态。应激激素等调节物质绝大部分为免疫抑制类调节物质，可对免疫系统产生强烈的抑制作用。尽管运动过程中生长激素等个别免疫增强性物质分泌量也有所增加，但其免疫增强效应远远小于免疫抑制效应，所以总效应表现出免疫抑制。

降低血糖的作用

血糖是运动时骨骼肌的主要能源。耐力性运动中糖作为主要的能源底物，消耗速率极快，并时常导致血糖浓度降低。血糖浓

度降低后，会从以下两个方面对免疫机能形成抑制性效应。

（景）加强糖皮质激素的分泌

当血糖降低时，会加强下丘脑—垂体—肾上腺轴的激活程度，促进糖皮质激素的分泌。糖皮质激素是强烈的免疫抑制剂，会引起机体的免疫抑制。

（圖）淋巴细胞的能源不足

运动时，血糖不仅是骨骼肌收缩的重要能源，而且也是免疫细胞的重要能源物质。所以运动引起血糖浓度下降，会直接影响淋巴细胞和巨噬细胞等免疫细胞的能源供应，继而使免疫机能下降。

灑氧自由基的作用

研究显示，急性运动中，体内氧自由基上升，上升幅度因运动负荷、运动量及持续时间不同而有所差别，而且这种升高现象在运动后仍然会持续相当长时间。体内氧自由基维持于较高水平，不仅是机体重要的致疲劳因素，而且会通过攻击免疫细胞膜等途径，造成免疫抑制。

二、运动性免疫抑制的生理意义

从保护身体健康及维护机体安全的角度，运动性免疫抑制现象具有非常重要的生理意义。

灑运动过程中，免疫抑制现象作为对运动应激活动的反作用，使机体不能将全部能量与机能能力动员出来从事运动，以免应激反应程度过高，影响机体安全。所以，在运动应激过程中，免疫机能充当着必不可少的保护性抑制角色。运动应激反应越激烈，持续时间越长，机体动员程度越大，免疫抑制程度相应越深，持续时间越长，免疫系统以此保持反应适度，保护机体安全。

圖运动过程中，若运动量过大、持续时间过长时，运动系统动员程度过大、过强，必然会对身体造成严重伤害。这时，机

体利用免疫降低容易患病等来提示机体已无法再坚持训练，并强制性地要求机体休息，至少要求强制性地减量、减强度，以此保护机体安全。

运动后免疫抑制程度与运动量、运动强度直接有关，尤其与运动量关系最为密切。所以，机体承受的运动量越大，疲劳程度越深，所需恢复时间越长，相应的免疫抑制程度越深，抑制解除所需时间越长。在这种情况下，机体急需一个“恢复期”来保护内环境遭受急剧破坏后的身体安全，正如患病时需要卧床休息一样。此段时间免疫功能低下正是为了让运动员得到充分的恢复。

思考题

名词解释：

免疫原 抗原 抗体

非特异性免疫与特异性免疫的差异。

主要的免疫细胞及其主要作用。

简述体液免疫应答反应的过程。

简述细胞免疫应答反应的过程。

简述适中运动对免疫机能的主要影响。

大强度运动训练引起的免疫指标的主要变化。

简述运动性免疫的“开窗”理论模式和“U”形曲线模式。

简述导致运动性免疫抑制现象的可能机理。

摇摇赛场如战场。要想打赢一场战争，战前的物资、心理准备是先决条件，中期的进展是关键，后期的休整工作必不可少。面对即将进行的比赛，运动员怎样根据自身特点，调整心理状态，做好准备活动，制定战术，争取发挥正常训练水平，创造较好的成绩？训练过程中怎样判断训练量是否适宜？运动员是否已经疲劳，能否继续运动？运动训练结束后，哪种恢复方法最有效？阅读完本章，你会有一个科学的答案。

第十三章 摇摇运动过程中人体功能变化的规律

摇摇在运动过程中，人体将发生一系列的规律性机能变化，研究和掌握机能变化的各个阶段的规律和特点，对于提高运动成绩和防止运动损伤具有重要意义。

第一节 摇摇赛前状态与准备活动

一、赛前状态

人在参加比赛或训练前某些器官、系统产生的一系列条件反射性变化称为赛前状态。它可产生在比赛前数天、数小时或数分钟。

摇摇赛前状态的生理变化及其产生机制

赛前状态的生理变化主要表现在神经系统兴奋性提高，物质代谢加强，体温上升，内脏器官活动增强。例如，心率加快、收

缩压升高、肺通气量和吸氧量增加，还可能有出汗和尿频等现象。赛前状态反应的大小与比赛性质和运动员的功能状态和心理状态有关。比赛规模愈大愈关键，离比赛时间愈近，赛前反应愈明显。运动员情绪紧张、训练水平低、比赛经验不足也会使赛前反应增强。

赛前状态产生的机制可以用条件反射机制解释。比赛或训练过程中，比赛场地、器材、观众、广播声和对手的表现等信息不断作用于运动员，并与比赛或训练中肌肉活动时的生理变化相结合。经过反复强化这些信息就变成了条件刺激，只要这些信息或刺激出现，赛前的生理变化就表现出来，因而形成了一种条件反射。由于这些生理变化是在比赛或训练的自然环境下形成的，所以其生理机制属自然条件反射。

赛前状态的生理意义及其调整

（员）不同赛前状态对运动能力的影响

赛前状态依据其生理反应可分为三种：

①准备状态。其特点是中枢神经系统兴奋性适度提高，植物性神经系统和内脏器官的惰性有所克服，进入工作状态时间适当缩短，从而有利于发挥机体工作能力和提高运动成绩。

②起赛热症。其特点是中枢神经系统的兴奋性过高，表现为过度紧张，常有寝食不安、四肢无力、全身微微颤抖、喉咙发堵等不良生理反应，因而使运动员工作能力和运动成绩下降。

③起赛冷淡。其特点是由于赛前兴奋性过高，进而引起了大脑皮层超限抑制，表现为对比赛淡漠、浑身无力。因此，不能发挥机体工作能力。

（圆）不良赛前状态的调整

赛前状态是自然条件反射，因而可塑性甚大。为了提高运动能力，必须对起赛热症和起赛冷淡进行调整，使之达到准备状态。具体要求如下：

①要求运动员不断提高心理素质，正确认识比赛意义、端正比赛态度，同时要经常参加比赛，积累比赛经验。

②赛前做好准备活动，如果运动员兴奋性不高，可做些强度较大的与比赛内容近似的练习；如果运动员兴奋性过高，准备活动的强度可小些，可安排一些轻松的和转移注意力的练习。按摩也可调整兴奋性，如强度较大的叩击能提高兴奋性，强度较小的揉、抚摩能降低兴奋性。

③赛前一定要遵守作息制度，应尽量与比赛条件相一致。

二、准备活动

准备活动是指在比赛、训练和体育课的基本部分之前，有目的地进行身体练习。

准备活动的生理作用和机制

准备活动的生理作用可归纳如下：

(员) 提高中枢神经系统的兴奋性，增强内分泌腺的活动，为正式练习时生理功能迅速达到最适宜程度做好准备。

(圆) 增强氧运输系统的活动，使肺通气量、吸氧量和心输出量增加，心肌和骨骼肌中毛细血管网扩张，工作肌能获得更多的氧供应。

(猿) 可适度升高体温。准备活动时，由于肌肉频繁地收缩和舒张，促进体内的物质和能量代谢，使产热过程加强，体温升高，从而提高酶的活性，体温每上升 1°C ，代谢率增加 13% 。体温适度升高能使神经传导速度加快，肌肉收缩速度增加。体温升高使氧离曲线右移促进氧合血红蛋白的解离，有利于氧的供应。研究表明，人体活动的最佳体温是 37.5°C ，而肌肉温度为 38.5°C 。

(源) 降低肌肉的粘滞性，增强弹性，预防运动损伤。

(缘) 增强皮肤的血流，有利于散热，防止正式练习时体温

过高。

准备活动对其后进行的正式练习有良好的影响，其主要生理机制是通过预先进行的肌肉活动在神经中枢的相应部位留下了兴奋性提高的痕迹，这一痕迹产生的生理效应能使正式练习时中枢神经系统的兴奋性处于最宜水平，调节功能得到改善，内脏器官的功能惰性得到克服，生化反应加快进行，有利于机体发挥最佳功能水平。研究证明，痕迹效应不能保持很久，准备活动后间隔时间过长（ $15\sim 20$ 分钟），其痕迹效应将全部丧失。

影响准备活动生理效应的因素

准备活动的时间、强度与正式练习的时间间隔以及内容和形式等，是影响准备活动生理效应的主要因素。实验证明，准备活动的强度以心率约达 $150\sim 160$ 次 $\cdot$ 分钟⁻¹，时间在 $10\sim 15$ 分钟之间为宜。此外，还应根据年龄、季节、运动专项、训练水平和个人特点等因素适当加以调整。总之，准备活动的强度和应以体温上升为主要标志。准备活动结束后到正式练习开始时的间隔一般不超过 15 分钟。在一般教学课中以 $10\sim 15$ 分钟为宜。

第二节 摇进入工作状态和稳定状态

一、进入工作状态

在进行运动练习时的开始阶段，人体各器官系统的工作能力不可能立刻达到最高水平，而是在运动开始后一段时间内逐步提高的，机体工作能力逐步提高的过程称为进入工作状态。

进入工作状态的生理机制

人体运动除了受物理惰性影响外，主要受生理惰性影响。生理惰性与生理功能的逐步提高和协调有关。具体表现在：

（员）人体的随意运动或反射活动都是在中枢神经系统的控

制和整合下完成的，从感受器将刺激能量转化为神经冲动，到神经冲动的传导、突触传递、中枢间功能活动的逐渐协调和肌肉收缩都需要时间。动作愈复杂，进入工作状态需要的时间愈长。

（圆 肌肉活动必须依赖内脏各器官的协调活动和与之相配合才能获得能源物质、氧和清除代谢产物，这一协调活动需要机体各种调节机制的参与。表现为：①内脏器官的生理惰性比运动器官大。支配内脏器官的植物性神经不仅传导速度慢，而且传导途径中突触联系较多（图 猿猿-猿）。②在调节内脏器官产生持续活动中，神经—体液调节作用更为重要。首先由神经系统调节内分泌腺分泌激素，激素随血液循环到达所支配的器官，改变其功能状态，这一系列的生理活动，比神经调节的惰性大得多。因此，内脏器官的生理惰性大是产生进入工作状态的主要原因。研究表明，在不做准备活动的情况下跑 猿-猿 分钟，呼吸和循环系统的活动需要在运动开始后 圆-猿 分钟才能达到最高水平，而骨骼肌在 圆-猿 分钟内就可发挥出最大工作效率。

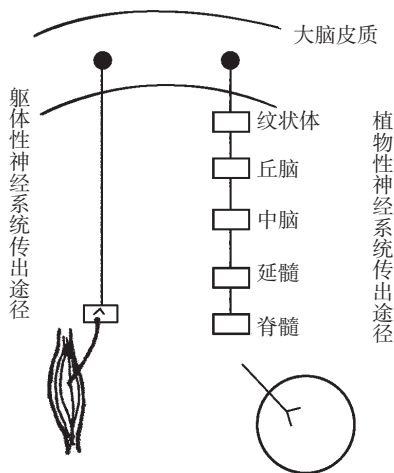


图 猿猿-猿 躯体性神经系统和植物性神经系统传出途径模式图

影响进入工作状态的主要因素

为提高运动练习效果应尽量缩短进入工作状态的时间。进入工作状态所需时间的长短取决于工作强度、工作性质、个人特点、训练水平和当时机体的功能状态。在适宜运动负荷下工作强度愈高，进入工作状态的时间就愈短。动作愈复杂、活动变换愈频繁，进入工作状态愈慢。训练水平愈高，当时的功能状态愈好，进入工作状态愈快。年龄和外界因素（场地、气候等）也能影响进入工作状态的时间。据研究，儿童少年进入工作状态的时间比成年人短。场地条件好，气候温暖适宜能激发运动欲望，迅速调动身体功能，及早适应工作。此外，良好的赛前状态和充分的准备活动有助于机体缩短进入工作状态的时间。

“极点”与“第二次呼吸”

（员）“极点”及其生理机制。在进行具有一定强度和持续时间的周期性运动时，当运动进行到某一时程时，运动者常常产生一些难以忍受的生理反应，如呼吸困难、胸闷、头晕、心率剧增、肌肉酸软无力、动作迟缓不协调，甚至产生停止运动的念头等，这种机能状态称为“极点”。

“极点”产生的原因主要是内脏器官的功能惰性与肌肉活动不相称，致使供氧不足，大量乳酸积累使血液的 pH 值向酸性方向变化。这不仅影响神经肌肉的兴奋性，还反射性地引起呼吸、循环系统活动紊乱，这些功能的失调又使大脑皮质运动动力定型暂时遭到破坏。

（圆）“第二次呼吸”及其生理机制。“极点”出现后，如依靠意志力和调整运动节奏继续运动不久，一些不良的生理反应便会逐渐减轻或消失，动作变得轻松有力，呼吸变得均匀自如，这种状态称为“第二次呼吸”。

“第二次呼吸”产生的原因主要是由于运动中内脏器官惰性逐步得到克服，氧供应增加，乳酸得到逐步清除；同时随着运动

速度的下降,使每分钟需氧量下降,进而减少了乳酸的产生,这样机体的内环境得到改善,被破坏了的动力定型得到恢复,于是出现了“第二次呼吸”。它标志着进入工作状态阶段的结束。

猿 影响“极点”与“第二次呼吸”的因素。“极点”出现的迟早、反应的强弱以及出现“第二次呼吸”的快慢等,与运动项目、运动强度、训练水平、赛前状态、准备活动等因素有关。一般说来,中长跑项目中“极点”反应较明显,运动强度愈大,训练水平愈低。气候闷热,“极点”出现得愈早,反应也愈明显,消失得也愈迟。良好的赛前状态与适当的准备活动能推迟“极点”的出现和减弱“极点”反应。当“极点”出现时,应注意加深呼吸,以减少血液中二氧化碳的浓度,有助于减轻“极点”反应,促使“第二次呼吸”尽快出现。

二、稳定状态

在进行运动练习时,进入工作状态阶段结束后,人体的机能活动在一段时间内保持在一个较高的变动范围不大的水平上,这种功能状态称为稳定状态。稳定状态可分为真稳定状态和假稳定状态。

猿 真稳定状态

在进行小强度和中等强度的长时间运动时,进入工作状态阶段结束后,机体所需要的氧可以得到满足,即摄氧量和需氧量保持动态平衡,这种状态称为真稳定状态。在真稳定状态阶段,肺通气量、心输出量、血压及其他生理指标保持相对稳定,运动中的能量供应以有氧氧化供能为主,乳酸的产生及氧债的积累很少,运动的持续时间较长,可达几十分钟或几小时。真稳定状态保持时间长短的关键取决于氧运输系统的功能,该功能愈强,稳定状态保持的时间则愈长。

猿 假稳定状态

在进行强度较大、持续时间较长的练习时，进入工作状态结束后，摄氧量已达到并稳定在最大摄氧量水平，但仍不能满足机体对氧的需要，这种状态称为假稳定状态。其特点是出现氧亏，其数值随运动强度的加大而加大。由于吸摄量不能满足需氧量，所以机体的无氧供能成分增加，乳酸的产出率大于清除率，使血乳酸增加， pH 值下降，运动不能持久。研究证明，在假稳定状态阶段，与运动有关的生理指标基本达到极限，如心率可达 $180\sim 190\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ ，心输出量达 $20\sim 25\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ，呼吸频率 $40\sim 50\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ ，肺通气量达 $120\sim 150\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$ ，收缩压 $160\sim 180\text{mmHg}$ 等。同时肌肉的电活动加强，表明募集了新的运动单位以代偿肌肉的疲劳。

第三节 摇运动性疲劳

一、运动性疲劳的概念及其分类

自1854年莫索研究人类的疲劳开始，至今已有150多年的历史，许多学者从多种角度采用不同手段广泛地对疲劳进行了研究，并先后给疲劳下了不同的定义。

在第五届国际运动生物化学会议（1984年）上对疲劳的概念取得了统一认识，即疲劳是：“机体生理过程不能继续机能在特定水平上进行或不能维持预定的运动强度。”其特点是：把疲劳时体内组织和器官的机能水平与运动能力结合起来评定疲劳的发生和程度；有助于选择客观指标评定疲劳，如用心率、血乳酸、最大摄氧量等指标的改变来判断。

运动性疲劳是运动本身引起的机体工作能力暂时降低，经过适当的休息和调整可以恢复的生理现象，是一个极其复杂的身體变化综合反应过程。

疲劳一般分为心理疲劳和身体疲劳。心理疲劳是由于心理活

动造成的一种疲劳状态；身体疲劳是由身体活动或肌肉活动引起的，主要表现为运动能力的下降，身体疲劳常因活动的种类不同而产生不同的症状。在运动竞赛和运动训练中，身体疲劳和心理疲劳是密切联系的，故运动性疲劳是身心的疲劳。

二、运动性疲劳产生的机制

19世纪初，人们开始了对运动性疲劳的系统研究，并取得了可喜的研究成果。关于运动性疲劳产生机制目前有许多假说，最具代表性的有：

1. 衰竭学说

认为疲劳产生的原因是能量物质的耗竭。其依据是，在长时间运动中，随着运动性疲劳的产生，同时伴有血糖浓度的降低，补充糖原后，运动能力有一定程度的提高。研究发现，狗运动到筋疲力竭时，注射肾上腺素后又能继续跑动，因肾上腺素可使肝糖原进一步分解，从而使血糖水平提高。

2. 堵塞学说

认为疲劳的产生是由于某些代谢产物在肌组织中堆积。其依据是，疲劳的肌肉中乳酸等代谢产物增多。研究认为，乳酸堆积会引起肌肉机能下降，原因是乳酸堆积而引起肌组织和血液中的pH值下降，阻碍神经肌肉接点处兴奋的传递；抑制果糖磷酸激酶（ PFK ）活性从而抑制糖酵解，使糖原合成速率减慢；另外，pH值下降，还使肌浆中 Ca^{2+} 的浓度下降，从而影响肌球蛋白和肌动蛋白的相互作用，使肌肉收缩减弱。

3. 内环境稳定性失调学说

认为疲劳是由于pH值下降，水盐代谢紊乱和血浆渗透压改变等因素引起的。研究证明，当人体失水占体重1%时，肌肉工作能力下降约10%~15%，失水量过多时，易发生中暑。美国哈佛大学疲劳研究所曾报道，在高温下作业的工人因出汗过多导

致不能劳动的严重疲劳时，给予饮水仍不能缓解，但饮用含 园园园豫 ~ 园园园豫 的氯化钠水溶液可使疲劳有所缓解。

源保护性抑制学说

这一学说是巴甫洛夫学派的观点，认为运动性疲劳是由于大脑皮质产生了保护性抑制。运动时大量冲动传至大脑皮质相应的神经元，使其长时间兴奋导致消耗增多，为避免进一步消耗，便产生了抑制过程，这对大脑皮质有保护作用。

缘突变理论

突变理论的特点是：单纯的能量消耗，肌肉的兴奋性并不下降，只有在 粤耗 耗尽时，才引起肌肉僵直，在运动性疲劳中不可能发展到这个地步；在能量和兴奋性丧失过程中，存在一个急剧下降的突变峰，兴奋性突然崩溃，并伴随力量或输出功率突然衰退，形如一条链的断裂现象。突变理论把疲劳看成是多因素的综合表现。

源自由基学说

自由基是指外层电子轨道含有未配对电子的基团。在细胞内，线粒体、内质网、细胞核、质膜和胞液中都可产生自由基。由于自由基化学性质活泼，可与机体内糖类、蛋白质、核酸及脂类等发生反应。因此，能造成细胞功能和结构的损伤和破坏，妨碍了正常的细胞代谢与功能，是导致运动性疲劳的重要原因。

研究还发现，自由基能引起线粒体呼吸链产生 粤的过程受到损害，使细胞能量生成发生障碍，影响了肌纤维的收缩功能；另外，自由基还能导致某些酶的失活，从而产生一系列病理变化，也能导致肌肉收缩能力的下降，产生疲劳。

三、运动性疲劳发生的部位及不同类型运动的疲劳特点

缘运动性疲劳发生的部位

关于运动性疲劳发生的部位有许多学者进行了多年的研究，

归纳如下：

猿 疲劳发生在中枢部位，即从大脑皮质直至脊髓运动神经元。

圆 疲劳发生在外周部位，即从神经—肌肉接点直至肌纤维内部的线粒体等。

猿 以上两部位同时发生。

从大脑皮质到肌纤维的每个环节都可以发生疲劳，只是在不同性质的运动和不同的实验条件下，首先及主要发生的部位可能不同。

不同类型运动的疲劳特点

运动性疲劳是一个极复杂的问题，由于运动的负荷和性质不同，会对人体功能产生不同影响。研究表明，不同时间的全力运动和不同代谢类型的运动项目，疲劳的特点也不相同。

不同运动项目的疲劳存在一定的规律性，短时间高强度运动的疲劳是由于肌细胞内代谢变化导致 猿 转换速率下降所致 (图 猿 圆。长时间中等强度运动疲劳往往与能源贮备动用过程受抑制有关 (图 猿 猿。

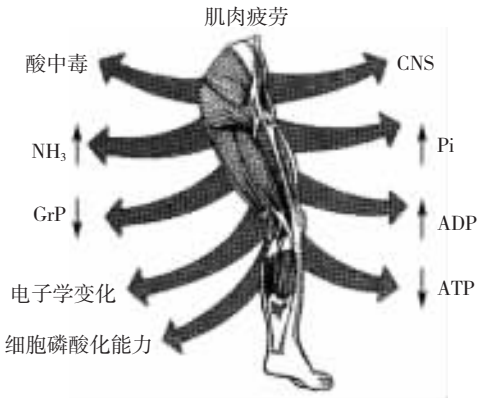


图 猿 圆 导致短时间剧烈运动疲劳的生理学因素示意图

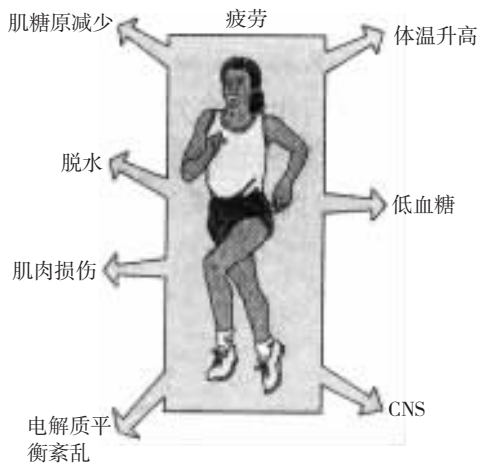


图 员猿- 猿 导致长时间耐力运动疲劳的生理学因素示意图

非同期性练习和混合性练习，其技术动作的不断变化是加深疲劳的重要因素。实验证明，习惯性的、自动化程度高的、节奏性强的动作不易疲劳，而要求精力高度集中以及运动中动作多变的练习，则较易产生疲劳。

在静止用力练习时，中枢神经系统相应中枢持续兴奋，肌肉中血液供应减少以及憋气引起的心血管系统功能下降是产生疲劳的主要原因。

四、运动性疲劳的判断

科学判断运动性疲劳的出现及其程度，对合理安排体育教学和训练有很大实际意义。然而，疲劳的表现形式各不相同，引起疲劳的原因和部位也有差异，目前还没有一个准确判断疲劳的方法。这里介绍几种判断疲劳的生理指标测定方法，仅供参考。

肌肉力测定

(员 背肌力与握力。可早晚各测一次，求出其数值差。如

次日晨已恢复，可判断为正常肌肉疲劳。

(圆 呼吸肌耐力。可连续测 缘次肺活量，每次测定间隔 猿泽 疲劳时肺活量逐次下降。

猿 神经系统功能测定

(员 疲劳时膝跳反射阈值升高。

(圆 疲劳时反应时延长。

(猿 血压体位反射。受试者坐姿，休息 缘皂秒后，测安静时血压，随即仰卧在床上 猿皂秒，然后把受试者扶起成坐姿（推受试者背部，使其被动坐起），立即测血压，每 猿泽测一次，共测 圆皂秒。若 圆皂秒以内完全恢复，说明没有疲劳，恢复一半以上为轻度疲劳，完全不能恢复为重度疲劳。

猿 感觉器功能测定

(员 皮肤空间阈。受试者仰卧、横伸单臂、闭眼，测试人员持触觉计或两脚规，拉开一定距离，将其两端以同样的力轻触受试者前臂皮肤，先从感觉不到两点的距离开始，逐渐加大两脚规距离，直到受试者感到了两点的最小距离称皮肤空间阈，又称两点阈。阈值较安静时增加 猿缘~ 圆倍为轻度疲劳，增加 圆倍以上为重度疲劳。

(圆 闪光融合频率。受试者坐姿，注视频率仪的光源（如红色），直到将红光调至明显断续闪光融合频率为止，即临界闪光融合频率。测三次，取其平均值，疲劳时闪光融合频率减少。如轻度疲劳时约减少 猿园~ 猿怨匀，中度疲劳时约减少 源园~ 苑怨匀，重度疲劳时减少 愿匀以上。

源 生物电测定

(员 心电图。疲劳时 杂原裁段向下偏移，裁波可能倒置。

(圆 肌电图。疲劳时，肌电振幅增大，频率降低，电机械延迟（简称 耘延）延长。耘延是指从肌肉兴奋产生动作电位开始到肌肉开始收缩的这段时间。该指标延长表明神经—肌肉功能

下降。

(3) 脑电图。脑电图可作为判断疲劳的一项参考指标。疲劳时由于神经元抑制过程的发展，可表现为慢波成分的增加。

主观感觉判断 (瑞典法)

瑞典生理学家冈奈尔·鲍格 (Gunnar Borg) 在 1970 年研制了主观体力感觉等级表，鲍格认为：在运动时来自肌肉疼痛、呼吸、心血管等各方面的刺激，都会传到大脑，而引起大脑感觉系统的应激。因此，运动员在运动时的自我体力感觉，也是判断疲劳的重要标志。

表 13-1 主观体力感觉等级表

自我感觉	等级
非常轻松	1 — 2 远 苑 愿 怨
很轻松	3 — 4 困 累
尚轻松	5 — 6 困 疲
稍累	7 — 8 疲 累
累	9 — 10 疲 困
很摇累	11 — 12 疲 困
精疲力竭	13 — 14 困 倦

该表的具体测试方法是：在运动现场，放一块 14 号 (主观体力感觉等级表) 木板，在木板上按表 13-1 进行编写。锻炼者在运动过程中，指出自我感觉是第几号，以此来判断疲劳程度。

如果用 运动的编号乘 表 相应的得数就是完成这种负荷的心率。

第四节恢复过程

恢复过程是指人体在体育运动结束后，各种生理功能和能源物质逐渐恢复到运动前状态的一段功能变化过程。

一、恢复过程的一般规律恢复过程可分为三个阶段

(图 表 源

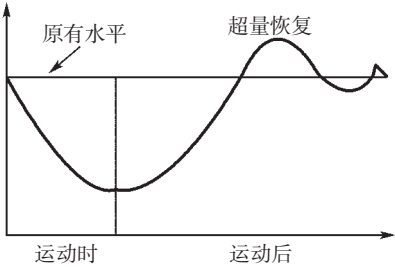


图 表 源消耗与恢复过程

第一阶段：运动时能源物质主要是消耗，体内能源物质逐渐减少，各器官系统功能逐渐下降。

第二阶段：运动停止后消耗过程减少，恢复过程占优势，能源物质和各器官系统的功能逐渐恢复到原来水平。

第三阶段：运动中消耗的能源物质在运动后一段时间内不仅恢复到原来水平，甚至超过原来水平，这种现象称“超量恢复”或“超量代偿”，保持一段时间后又回到原来水平。

超量恢复是客观存在的规律。有人让两名实验对象分别站在一辆自行车的两侧同时蹬车，其中一人用右腿蹬车左腿休息，另一人用左腿蹬车右腿休息，当运动至精疲力竭时，测得的运动腿股外肌的肌糖原含量接近于零。运动后连续三天食用高糖膳食，

不参加任何运动,结果运动腿股外肌肌糖原含量比安静腿多1倍。

超量恢复的程度和时间取决于消耗的程度,在一定范围内,肌肉活动量愈大,消耗过程愈剧烈,超量恢复愈明显。如果活动量过大,超过了生理范围,恢复过程就会延缓。运动实践证明,运动员在超量恢复阶段参加训练或比赛,能提高训练效果和创造优异比赛成绩。

二、机体能源贮备的恢复

1. 磷酸原的恢复

磷酸原的恢复很快,在剧烈运动后被消耗的磷酸原在10~15分钟内合成一半,30~45分钟可完全恢复。磷酸原的恢复主要是由有氧氧化系统供能。运动中磷酸原消耗的愈多,其恢复过程需要的氧也愈多。恢复员自身需要消耗氧,未受过系统训练的男子磷酸原恢复需要氧1.0~1.5L,速度力量项目的运动员则需要2.0~2.5L。

2. 肌糖原贮备的恢复

肌糖原是有氧氧化系统和乳酸能系统的供能物质,其消耗也是长时间运动延缓疲劳的一个因素:影响肌糖原恢复的速度主要有两个因素,一是运动强度和运动持续时间,二是膳食。

长时间运动(员耐力性运动后,再进行员最大力量性运动)致使肌糖原耗尽后,如用高脂肪与蛋白质膳食1天,肌糖原恢复很少,如用高糖膳食1天即可完全恢复,而且前1天恢复最快。

在短时间、高强度的间歇训练后,无论食用普通膳食还是高糖膳食,肌糖原的完全恢复都需要1天,而且在前1天恢复最快。

3. 氧合肌红蛋白的恢复

氧合肌红蛋白存在于肌肉中,每千克肌肉约含1.5g。在肌肉工作中氧合肌红蛋白能迅速解离释放氧而被利用,运动后几

秒钟即可完全恢复。由于肌红蛋白与氧结合不需要能量，主要取决于氧分压，而在恢复过程中氧分压略有升高，肌红蛋白即与氧迅速结合。

乳酸再利用

乳酸是糖酵解的产物，其中蕴藏有大量的能量可以被利用。在以往的研究中，认为乳酸绝大部分用于合成肝糖原才能被再利用。近几年的研究认为，乳酸在工作肌中被继续氧化分解利用占绝大部分。

根据上述能量贮备的恢复规律及乳酸利用过程，在进行力竭性运动后所需的恢复时间可参考表 员表 圆

表 员表 圆 力竭运动后恢复所需要时间

摇摇恢复过程		恢复时间	
		最短	最长
肌肉磷酸原的恢复		圆秒	猿秒
非乳酸性氧债的偿还		猿秒	缘秒
氧合血红蛋白恢复		员秒	圆秒
肌糖原的恢复	(长时间运动后)	员噪	源噪
	(间歇运动后)	缘秒	圆噪
肌肉和血液中乳酸的消除	(运动性恢复)	猿秒	员噪
	(休息性恢复)	员噪	圆噪
乳酸性氧债的偿还		猿秒	员噪

三、促进人体功能恢复的措施

运动性疲劳是体内多种因素综合变化的结果，必须采用多种科学手段才能加速机体功能的恢复。

活动性休息手段

(员 变换活动部位和调整运动强度

谢切诺夫在 员愿年进行测力描记实验中发现，右手握测力

器工作到疲劳后,以左手继续工作来代替安静休息,能使右手恢复得更迅速更完全。并认为,在休息期中来自左手肌肉收缩时的传入冲动,会加深支配右手的神经中枢的抑制过程,并使右手血流量增加。用转换活动的方式来消除疲劳,也称积极性休息。大量研究证明,与安静休息相比较,活动性休息可使乳酸的消除快一倍。

(四) 整理活动

整理活动是指在正式练习后所做的一些加速机体功能恢复的较轻松的身体练习。通过整理活动,可减少肌肉的延迟性酸疼,有助于消除疲劳;使肌肉血流量增加,加速乳酸利用;预防激烈活动骤然停止可能引起的机体功能失调。例如,跑到终点后站立不动,血液大量集中在下肢扩张的血管内,使静脉回心血量减少,因而心输出量下降,致使血压降低而造成暂时性脑贫血,会引起一系列不适感觉,甚至出现“重力性休克”。

做整理活动时量不要大,尽量缓和、放松,使身体逐渐恢复到安静状态。

(五) 营养性手段

运动能力恢复的关键在于恢复机体的能量贮备,包括肌肉及肝脏的糖原储备、关键酶的活性以及体液、微量元素平衡、细胞膜的完整性等。其中,补充营养是恢复的物质基础。

(六) 能源物质的合理搭配

运动中补充热量,一般按照蛋白质、脂肪、糖三者的比例均衡进补。多数项目运动员的膳食中,三种能量的补充比例为蛋白质:脂肪:糖=1:1:2;耐力性运动项目要求膳食中糖的含量较高,故三种能量的搭配比例为蛋白质:脂肪:糖=1:1:3;而运动负荷量比较小的项目,则比普通人的能量补充稍高一些,三种能量的搭配比例为蛋白质:脂肪:糖=1:1:2。三大营养物质摄取总量应根据项目的特点,以能满足机体代谢需要为依据,既不能过多,也不能过少。

（四）营养物质的补充方法

关于营养物质的补充方法，体育保健学有详细介绍。

（五）中医手段

应用中医药调理的目的在于提高机体免疫能力，改善代谢调节，进而提高训练效果。通过中药补剂提高免疫能力，对加速疲劳消除有良好作用。另外，通过外源性抗氧化剂的补充可以减少高强度运动时氧自由基对机体的损害。常用抗氧化剂的中草药有人参、当归、生地、酸枣仁、五味子等。

（六）睡眠

睡眠对机体功能的恢复是非常重要的，人在睡眠时感觉减退、意识逐渐消失，机体与环境的主动联系大大减弱，失去了对环境变化的精确适应能力，全身肌肉处于放松状态。通过睡眠使精神和体力得到恢复，成年人每天需要睡眠 7-8 小时，儿童少年大约需要 9-10 小时。

（七）物理手段

在高强度和大运动量训练之后，常采用按摩、理疗、吸氧、针灸等医学物理手段加速机体恢复，尤其是保健按摩的作用更加明显。

（八）心理放松手段

训练和比赛之后，采用心理调整放松，能够降低神经—精神的紧张程度，减轻心理的压抑状态，加快神经系统的恢复，从而对身体其他器官、系统的恢复产生重大影响。对身体起作用的心理放松手段很多，其中主要有：暗示性睡眠—休息，肌肉放松，心理调整训练，各种消遣和娱乐活动性活动等。

思考题

1. 依据赛前状态的生理变化及其机制，如何调整和提高机体的工作能力？

2. 在运动实践中如何正确对待“极点”和“第二次呼吸”？

- 1. 真稳定状态和假稳定状态有何区别？
- 2. 运动性疲劳是如何产生的？
- 3. 判断运动性疲劳的生理学方法有哪些？
- 4. 超量恢复有何特点及意义？
- 5. 在体育实践中有哪些良好的恢复手段？

走出“热身”的误区

英文中的准备活动叫“**Warm-up**”，有人把它直译为“热身”。近年来，又有些人将此名词外延到体育活动中的一些准备工作。例如，为大赛做准备的一些模拟比赛被称之为“热身赛”，赛前的一些专门性训练被称之为“热身训练”或“热身”等。可见“热身”在准备活动中占有十分重要的位置。其实，准备活动除了具有体温升高的一系列生理效应外，还有其他一些重要生理作用。如果单纯强调“热身”的重要性，很容易将运动者引入一个“运动前只要能让身体发热，也可以不做准备活动”误区。这样，不仅会影响运动效果，还易发生运动损伤。对此，我们试图通过本文来说明更多的准备活动的生理机制。

一、“热身”效应可能引起的误区

据生理学分析认为：体内温度在生理范围内提高，对接下来的运动能力提高确实有十分重要的作用。它可使：**①**肌肉的黏滞性降低，兴奋性、伸展性及供血能力提高。**②**体内血红蛋白和肌红蛋白携氧能力提高。**③**参与生化反应酶的活性提高。**④**“血管床”阻力减小等。这些机能水平的变化是机体进行剧烈运动的重要保证，这种“热身”效应为即将到来的正式肌肉工作做好准备。

准备活动能让体温升高，是由于体内重要产热器官——骨骼肌不断工作造成的。其实，通过一些物理性手段也可使体温升高。许多实验都证实，除了准备活动外，对身体进行按摩、红外线照射、冲热水浴或穿不透气的厚运动服等都能起到热身效果。依上所述，这些手段亦应该能起到提高运动能力的作用。有人通过实验就证明了这一点，他让运动员运动前不做准备活动，只进行**15-20分钟**的热水浴，使体温升高，发现确实也可以提高

运动成绩。这一实验是否就意味着“热身”就是运动前准备的全部作用？是否就可以表明运动前亦可不做准备活动，只需通过上述的物理性手段使体温升高就行了呢？若果然如此运动前的这种物理性热身准备（亦有人称之为“被动性准备活动”）还可避免运动前有过多的能耗，保证运动时有更充足的能量，是否比“生理性热身准备”（准备活动）对接下来的运动效果还要好呢？

二、并非仅有“热身效应”的实验

根据上述疑问，也曾有人做过这样的实验：让三名受试者分别在不做任何准备活动、蒸汽浴、做准备活动后的三种情况下测定 100 米跑及 1500 米跑，成绩见下表。由表可见，蒸汽浴及准备活动效果不等，蒸汽浴后运动成绩不如准备活动后。这一实验提示我们准备活动除有“热身”效应外，还有另外的一些重要作用。

跑距离	受试者	不做准备活动		蒸汽浴后		做准备活动后	
		体温	成绩	体温	成绩	体温	成绩
100 米	刘月	36.5℃	15.8 秒	36.8℃	15.8 秒	36.8℃	15.8 秒
	李习	36.5℃	15.8 秒	36.8℃	15.8 秒	36.8℃	15.8 秒
	薛蕴	36.5℃	15.8 秒	36.8℃	15.8 秒	36.8℃	15.8 秒
1500 米	刘月	36.5℃	4.0 分	36.8℃	4.0 分	36.8℃	4.0 分
	李习	36.5℃	4.0 分	36.8℃	4.0 分	36.8℃	4.0 分
	薛蕴	36.5℃	4.0 分	36.8℃	4.0 分	36.8℃	4.0 分

三、“热身”以外的重要生理作用

神经—肌肉理论认为：准备活动中的肌肉工作总会伴有肌肉内的肌梭、腱梭及关节小体等本体感受器活动的加强。在本体感受器的参与下，准备活动至少还有以下三个作用：

预先提高氧运输系统的功能

在准备活动的肌肉工作中，交感神经由于本体感受器的反馈作用而兴奋，引起本体感受性反射，即心血管与呼吸系统机能加强。这种正式运动前氧运输系统机能的预先提高，将提高其调节神经中枢的应激能力，亦即在调节与氧运输系统有关的神经中枢留下兴奋的痕迹。这一痕迹将在准备活动后的适宜间隔时间内，使这些中枢在接下来的正式运动时更快地、更

强地兴奋起来，使准备活动后的正式运动氧运输系统能尽快地发挥最高机能，从而克服了内脏器官不能与骨骼肌同步工作的惰性，使接下来的肌肉工作尽快地得到更充足的氧供应，缩短了进入工作状态时间，提高了运动效果。

（四）使参与运动的有关中枢预先“磨合”

巴甫洛夫理论认为：任何一项运动动作都是反射活动，特别是体育活动中的复杂动作都是简单反射活动的组合。各种反射活动要协调地组合起来，必须有一定时间的“磨合”才能实现。运动前通过一些与正式运动动作结构、节奏、强度相近练习的一般准备活动和专门准备活动就是为了使许多反射活动的组合逐渐协调起来，使即将到来的肌肉工作各有关中枢预先得到“磨合”，亦即在运动中枢中引起“痕迹效应”。使接下来的肌肉活动更快地协调工作，更快地进入状态，从而提高运动效果。

（五）提高大脑皮质的兴奋性

准备活动引起本体感受器的传入神经冲动，除了能引起交感神经兴奋外，还可以通过非特异性投射系统将本体感受器受刺激后产生的神经冲动变成更弥散的神经冲动，投射到大脑皮质的广泛区域，去刺激大脑皮质的各部位神经元，提高其兴奋性水平及应激能力，使其能在需要时：（1）发放更强烈的神经冲动，去影响运动系统，去动员更多的运动单位，发挥更大的肌肉力量；（2）发放更精确的调节信息，使与运动有关的各中枢更加协调配合，使接下来的肌肉工作发挥更佳的运动效果。

如上所述的是准备活动中，除“热身”以外的另外三种重要生理作用，是肌肉工作引起的本体感受性反射调节作用产生的重要效果，也是同有肌肉工作参与的“物理性热身准备”所无法达到的。

摇摇人的潜能有多大，恐怕谁也说不清。但是，人在生命攸关之际，能产生“超人”的运动能力，是个毫无争议的事实。

有人亲眼目睹在伊朗闹地震时，一个弱不禁风的妇女抬起一堵重达几百公斤的断壁，从废墟中救出自己的孩子；一个老太太在火场中搬起一只连身强力壮的消防员都搬不动的铁箱；一个 15 岁的少年遇到一只疯狗追赶时，跳过 3 米多远的壕沟……

面对如此事实，不免引起人们对自身运动潜能的了解产生了强烈的兴趣和好奇，这究竟为什么呢？

第十四章 运动素质的生理基础

人的一切随意运动，都是在中枢神经系统参与下实现的肌肉活动。肌肉的运动能力可以表现为许多方面，如肌肉收缩力量的大小、完成动作的快慢、体位移动一定距离的快慢、持续时间的长短、动作是否灵敏协调、关节活动范围的大小等。以往的教材通常把人体在肌肉工作中所表现出来的力量、速度、耐力、灵敏和柔韧等基本能力称为“身体素质”。其实，人的身体并不是由力量、速度、耐力等五个因素组成的，将它们称为“身体素质”有所不妥。准确地讲，这种肌肉工作中所表现出来的各种能力应称之为“运动素质”。

运动素质的发展水平，不仅取决于肌肉本身的结构和机能，而且还与肌肉工作时的能量供应、内脏器官的机能以及神经调节有关。所以，运动素质是人体各器官系统机能在肌肉工作中的综

合反映。良好的运动素质是体质增强的一个重要表现，是掌握运动技能、提高运动成绩的重要基础。所以在体育教学和运动训练中都十分重视运动素质的训练。

第一节 力量素质

力量素质是指肌肉活动时抵抗阻力的能力，亦即肌肉紧张或收缩时，表现出来的一种能力。人体所有运动几乎都是在对抗阻力，这种阻力包括内外两方面：内部阻力有各肌群间的对抗力、肌肉的黏滞性等；外部阻力有物体的重力、伴练者的对抗力、摩擦力及空气阻力等。

力量素质的发展，常对速度、耐力、灵敏和柔韧等其他素质产生明显影响；发展力量也是预防运动损伤的积极措施。所以，力量是运动素质诸因素中最重要的基础素质，各项运动都非常重视肌肉力量素质的训练。

通过训练能够提高肌肉的抗阻能力，是因为肌肉在受到不断重复的刺激时，会作出适应性的改变，这种改变主要表现为结构（肌肉增粗）和功能（神经对肌肉的调节能力）两方面。适应性改变可使原来的负荷或刺激对机体影响越来越小，使机体越来越能承受较大的刺激，并且对所受刺激的针对性非常强。研究证实，力量训练的适应性分两个阶段：（Ⅰ）初期的力量增长阶段主要依靠机体内神经肌肉的协调性升高，其力量增长和肌肉体积没有变化为基本特点。（Ⅱ）后期的力量增长阶段主要依靠肌肉的体积增大为基本特点。力量练习者在经过几个月或几年的力量训练后，其力量的增长程度将主要取决于练习者肌肉体积的增长潜力。

发展力量素质的手段和方法很多。根据所克服阻力性质的不同可分：负重抗阻、双人结伴的对抗、利用弹性物体抗阻、专门

器械抗阻、克服自身体重、利用上下坡台阶等外部环境阻力、电刺激等练习。

根据肌肉工作方式的不同可分：等长、等动、向心、离心、超等长练习等。

根据练习效果获得不同可分：绝对力量、相对力量、速度力量、力量耐力等力量练习。

一、决定力量素质大小的生理基础

圆肌肉的形态结构的变化

肌肉力量的大小取决于结构和机能在某种层次上的统一，故肌肉的形态、生理、生化等变化特点对力量的发展有重要意义。

（员 肌肉生理横断面增大。力量训练可使肌力增强，最明显效果是使肌肉的生理横断面增大，这主要是由于肌纤维增粗所致，也有少数人认为是肌纤维数目增加的原因。但无论是单个肌纤维增粗，还是肌纤维数目增加，最终都表现为肌肉中的蛋白质含量增多。早在 缘年前玛卡罗娃就从动物实验中证实了这一点，即训练使肌肉的收缩成分——肌球蛋白增加（表 猿- 员，从而为力量的发挥创造了结构基础。

表 猿- 员实验性训练对家兔肌肉中肌球蛋白含量的影响

实验条件	肌球蛋白含量（豫）
未经训练组	源
速度性训练组	源
力量性训练组	源

摇摇摇摇依据：玛卡罗娃，员年。

（圆 肌肉的结缔组织增厚。肌肉的结缔组织是肌肉的弹性成分，在长期力量练习过程中，会对这些成分造成附加的紧张与牵拉，使之产生适应性粗厚而坚实，具体表现为肌纤维膜变厚，肌腱和韧带组织增粗，从而使其抗拉力增大，也为肌肉弹性势能

的储存提供更大的空间。

(猿 肌肉中的毛细血管网增多。力量训练使肌肉中的毛细血管网增生,毛细血管在结构形态上也发生囊泡状的适应性变化。这种变化为肌肉进行力量性活动供应充足的氧和养料奠定了结构的基础。

(源 肌肉的能量供应和氧贮备能力提高。力量训练可导致肌肉中的 粤酶和 悦酶活性提高, 粤酶 悦酶 粤酶 肌酸和肌糖原含量增加,还可使肌肉中的肌红蛋白含量增加(肌红蛋白与氧结合能力比血红蛋白高 缘倍)。这些都为肌肉工作提供更充足的能量和氧气。

(缘 肌肉中的脂肪减少。肌肉中的脂肪成分在肌肉收缩时会产生摩擦,增加阻力,使肌肉做功时的机械效率降低。脂肪的减少可提高其收缩效果。

(远 肌纤维类型的改变。快肌较慢肌不仅速度快,而且能产生更大的力量,由于两类肌纤维的募集次序和程度不同,所以力量训练会使快肌发生选择性肥大,从而更加适应力量练习时的抗阻需要。

圆 神经调节功能的改善

运动实践中常可见到,许多举重运动员的体重并未增加,但举重成绩不断升高。还有人发现受试者经过一天训练后,肌力可增大 圆圆圆豫,表明肌力除与肌肉体积大小有关,还与神经调节功能有密切关系,其主要表现为以下两个方面。

(员 运动中枢功能的提高。系统的力量训练能使大脑皮质相应运动中枢的功能得以改善,兴奋过程强而集中,使肌肉中每一运动单位发生最大紧张性变化,动员更多的运动单位同步参加活动。据研究,一般人最多只能动员肌肉中 远圆豫的肌纤维参加收缩,力量性运动员则可动员 怨圆豫以上的肌纤维同步参加收缩。已证实,力量大小与肌纤维动员的数量呈正相关。

（圆 各运动中枢之间的协调关系改善。系统的力量训练，能使支配主动肌、协同肌、对抗肌、支持肌的神经中枢能在时间空间上准确而及时地产生兴奋和抑制过程，并在动作运行过程中兴奋与抑制能够适时互相转换，出现了动作的高度协调，肌肉该收缩时收缩，该放松时放松。这种各肌群支配中枢间协调关系的建立可以增大力量，特别是对抗肌放松能力的提高，可以显著地提高主动肌的收缩力量。

猿心理因素的影响

如上所述，力量训练可使更多肌纤维同步活动。然而，即使是最优秀的力量性运动员也还有 猿豫左右的肌纤维未动员起来。这种潜力是由于大脑皮质内抑制的作用，是人的自我保护性储备。当人体处于某种心理状态（增力情绪）或使用刺激剂时，可使大脑皮层的兴奋水平暂时性提高，在皮层中产生的兴奋可使原来抑制了的神经细胞出现“解除抑制”现象，使力量倍增（图 猿- 猿。在性命攸关的重要关头、狂喜、愤怒、高昂的情绪、大声吼叫等各种强烈而短暂的激情状态下都可产生巨大的力量（表 猿- 圆。

表 猿- 圆摇同一人吼声发力与无声发力效果的比较

组别	人数	吼声发力	无声发力	差数	责任
大学生握力	猿	猿	猿	猿	猿
中学生掷实心球	猿	猿	猿	猿	猿
体校学生掷标枪	猿	猿	猿	猿	猿

摇依据：吕新颖 《北京体育大学》 猿年第四期

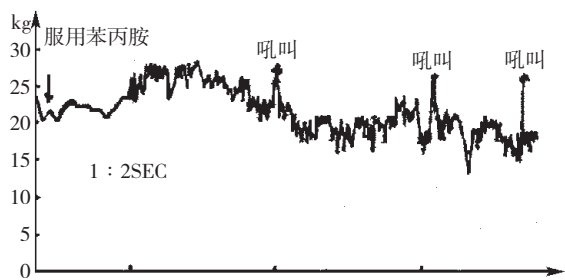


图 猿源 猿猿耐力工作中服用苯丙胺和吼叫对动力性最大收缩力的影响
依据：猪饲与石井，猿猿猿年

猿猿肌肉内感受器反馈调节的影响

肌梭和腱梭是肌肉中的两个重要感受器，也是人体避免肌肉被过度牵拉以及肌张力过强时引起肌腱被过度牵拉的自我保护性装置（图 猿源 猿圆）。

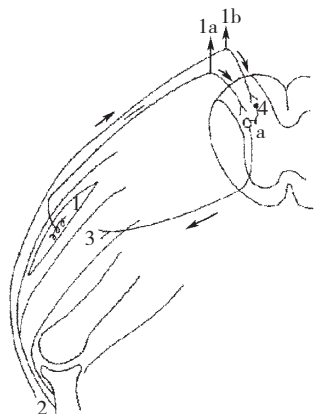


图 猿源 猿圆肌肉收缩与肌梭、腱梭的关系
猿猿肌梭；猿圆腱梭；猿猿肌肉（梭外肌）；猿圆中间抑制性神经元
I 猿猿肌梭传入神经 II 猿圆腱梭传入神经

当肌肉收缩前受到突然牵拉后，会产生更大的收缩力量。其

原因就是肌梭感受到牵拉后，能产生让受牵拉肌肉发生缩短的神经冲动，此神经冲动（经传入）汇合随意运动的神经冲动，使脊髓前角的运动神经元形成了一个“共激活”效应，让更多的运动单位参与收缩活动，并使活化的运动单位趋于同步化，从而提高肌力。其实，这种现象常被运动员无意识地利用着。如：人在向上跳之前总要预蹲一下，将用力前的肌群预先拉长；投掷前的引臂、踢球前的腿后摆等，都是在牵拉用力前的肌肉，借以刺激肌梭——增大肌力。

当肌张力过强时，肌腱将受到强烈的拉伸，位于肌腱中的感受器——腱梭将产生兴奋（经传入），它会在脊髓处通过中间抑制性神经元，抑制肌肉的活动，使肌张力下降。过强的肌张力虽能撕脱肌腱的附着点，但腱梭因刺激而发生的反射活动与肌腱被撕脱的界限有很大的距离，它使肌肉和骨骼具有几倍，甚至是十倍以上的安全系数，这其实也是肌张力的潜力所在。如：肱二头肌具有举起自身体重的潜能，并在此时可能造成肌腱被撕脱或骨折，但由于腱梭的存在，阻止了肱二头肌最大功能的发挥，只能允许举起自身体重的重量，超过此界限，腱梭就对其起抑制作用了。持续的力量训练会使这些腱梭的敏感性下降，当肌张力进一步增加时，原本兴奋的腱梭将推迟兴奋的时间，即使在不增添其他增力因素的情况下，也能提高肌肉力量。

续 雌性激素的影响

雄性激素的主要作用是促进体内蛋白质合成，使肌肉肥大。它主要是由男子的睾丸和肾上腺皮质分泌的，女子肾上腺皮质和卵巢也有少量的分泌。由于雄性激素在不同的年龄和性别体内分泌量是不同的，故年龄、性别不同的人肌肉力量各不相同。

在发育期前，男女的雄性激素水平区别不大，所以男孩和女孩的肌力差别不大。进入发育期后，男孩迅速增加雄性激素分泌量，从此力量迅速增长，直至发育成熟。女孩进入发育期后会有

大量的雌性激素分泌，雄性激素仍保持女孩水平，雌性激素会使皮下脂肪丰满，不利于肌力的发展，所以女孩发育后的力量增长只能随体重的增加而缓慢增加。

由于女子的雄性激素含量有限，所以，无论怎样的训练都不能使女子的肌肉像男子那样发达。尽管也有通过力量训练获得与男子力量相同的女子，但其肌肉发达程度远不如男子，这与力量训练不能明显改变女子雄性激素水平有关。此力量提高的机制主要是在于运动单位募集能力的提高和改善。

造成男女力量差异的另一原因是后天参加的活动有所不同。男子经常参加一些能发展力量和爆发力的体育活动，使他们比女子更接近自己潜在的最大力量水平。由于女子从事的活动一般多是力量性的或力量水平较低的活动，因此，使女子距她们潜在的最大力量水平甚远。虽然女子的绝对力量水平低于男子，但经过训练，男女间的差别会逐渐缩小。如女大学生经过 8 周的力量训练后，其力量提高相对值较同龄的男子大。因而有人认为，如果肌肉体积是力量的主要决定因素的话，女子的肌肉力量将明显处于劣势；但如果神经因素是决定力量的主要因素的话，女子的肌肉潜力将是值得考虑的问题。

心肺功能的变化

一定强度的力量练习常会伴随出现屏息和憋气状态。由于屏息特别是憋气时会使胸廓和骨盆固定，胸腹内压升高，这不仅会为肩带肌和盆带肌提供稳固的支撑条件，使其肌力得以充分发挥，还会反射性地增强肌力。但由于憋气时，声门紧闭，肺内充满空气，呼气肌又处于强烈收缩状态，将使胸腹内压骤增，肺毛细血管受压，造成肺循环困难。另外由于胸腹静脉血受压而滞留，并呈现静脉怒张，导致心输出量下降等一系列身体不适感。长期的力量训练，可使心肺功能发生适应性的变化，从而使力量在心肺适应的基础上得以充分发挥。

二、发展肌肉力量的原则

超负荷原则

负荷是决定力量素质发展的关键因素。所谓超负荷原则，是指练习者须采用接近或略超越本人所能克服的最大阻力进行训练的原则。这种负荷能对肌肉产生较大的刺激，并促使其产生相应的生理学适应。日本学者研究认为：人们日常生活中使用的肌力负荷范围，为本人最大肌力的 $0.4 \sim 0.8$ ，此负荷为训练的“无关区域”，即该负荷范围内肌力既不增加也不减少；当肌肉只承担最大肌力的 0.4 以下负荷时，此肌力承受低于日常生活所必要的肌肉负荷时（如：生病卧床的病人），肌肉将发生萎缩、功能逐渐减弱，故最大肌力 0.4 的负荷为“肌肉萎缩阈值”；本人最大肌力的 0.8 以上的负荷为“肌肉肥大阈值”，即此负荷训练会使肌力明显提高。大量运动实践证实超过本人最大肌力 0.8 以上的负荷能最明显地提高肌力。

渐增阻力原则

肌肉对力量训练负荷的适应，必须通过机体自身各器官、系统，各部分肌肉乃至每个细胞逐步去实现。对同一重量的负荷，经历一个时期的训练而有了收效后，往日尚属超负荷者，今日可能就变成了已经适应的低负荷了。欲不断取得力量训练的最佳效果，就须逐渐增加负荷量，使新的超负荷，再度变成中或小的负荷。这样，力量增长就会随阻力渐增而渐增，直至挖掘出最大的力量潜力。美国生理学家富克斯提出“负荷到极限，训练到极限”的渐增阻力负荷方法目前被广泛使用。即最初进行力量训练时的负荷为 50% （最高重复次数），随着力量的提高，该负荷逐步变成可重复 10 次以上，直至能重复 1 次，即这一负荷变成 100% ，此时就要考虑增加训练的负荷，使新的负荷又成为 50% 。当然，渐增负荷的标准也不可忽略个体差异，如刚开始训练的新手或体

力较弱者，也可考虑“负荷为 $\frac{1}{2}$ 猿，训练到 $\frac{1}{3}$ 猿”的标准。若为发展绝对力量，就该采用“负荷为 $\frac{1}{3}$ 猿，训练到 $\frac{1}{4}$ 猿”的标准。

猿专门性原则

绝大多数体育运动项目的动作结构、用力方向、参与肌肉及工作形式、关节角度等均不相等，各有自身特点。因此，发展力量若是为了提高某专项运动成绩，就应该在力量练习时尽可能模拟运动实际，除训练那些直接用来完成该动作的肌群外，还要注意在发力特点上亦尽量相似。如：根据投掷运动的发力特点，其速度力量的培养极为重要。欲提高投掷出手速度，除发展与其发力动作结构有关的肌力外，还必须调节好心理和神经肌肉两方面的活动，必须靠精神去激起自身产生最大的肌力。因此，在投掷专门力量训练时，无论是克服杠铃重量，还是专门投重物都必须始终想着“速度”。无论它有多重，都应尽最大努力表现出最快的速度，这样才能使运动员在专项动作中表现出较大的肌肉力量、达到较高的专项水平。最能说明专项力量比一般力量对专项成绩贡献大的例子莫过于：前苏联男子链球选手谢迪赫的成绩从 $\frac{1}{2}$ 猿皂提高到 $\frac{1}{3}$ 猿皂，是因为其专门投掷能力大幅度提高，而一般力量指标均大幅度下降。显然，这是他舍去了进行一般力量训练的时间，去进行专项力量训练的结果。

猿大小肌群训练的有序性原则

据研究，大小肌群在力量训练过程中，应按严格的顺序安排才能取得良好的效果。练习序列应遵循“由大肌群至小肌群”的原则，即先练习大肌群，后练习小肌群（表 $\frac{1}{2}$ 猿-猿。主要机理有二：一是当一块肌肉受到训练而增长力量时，整个身体其他肌肉也会在较小程度上有所增长，因此先锻炼大肌群，这种相互良好影响会更明显；二是小肌群在负荷中比大肌群易疲劳，这在一定程度上影响大肌群的工作能力，从而不能对其实施超负荷训

练。若先练大肌群，疲劳相应出现较迟，这就可以延长练习时间，提高训练效果。当然，不得在前后两个相继的练习中使用同一肌群的练习，以保证肌肉在每次负重后有足够的恢复时间。

表 猿源 猿猿主要肌群的练习次序

次猿序	部猿位
猿	大腿和髁部
圆	胸和上臂
猿	背和大腿后面
源	小腿和踝
缘	肩带和上臂后面
远	腹猿部
苑	上臂前面

摇摇摇摇摇摇依：体育学院函授教材《人体生理学》

猿猿合理间隔原则

实践证明，力量训练的合理间隔时间应根据对象的训练水平、运动习惯及体质状况的不同，实行区别对待，不宜一视同仁地对待运动新手，隔天训练的效果优于每天训练。实验研究表明，每天进行力量训练的新手，训练 猿次后力量增长 猿猿豫，而隔天训练的新手，猿次训练后，力量增长达 苑猿猿豫。

训练间隔的频度对力量消退的速度亦有不同影响。力量增长急速者，停止练习后消退也快；力量缓慢增长者，停止练习后保持时间较长。让练习者每天训练，圆周后力量增长 猿猿豫，然后停止练习，猿周后完全消退，回复至原有水平；让练习者每周进行一次力量练习，共训练 猿周，虽然力量只增长 苑猿豫，但在完全停止练习后 苑周仍未完全消退。经抗阻力训练使肌肉力量获得增长之后，若每隔六周训练一次，可使力量消退速度大大延缓；若每两周保持一次训练，则已获得的肌力，可基本保持（图 猿源 猿猿）。

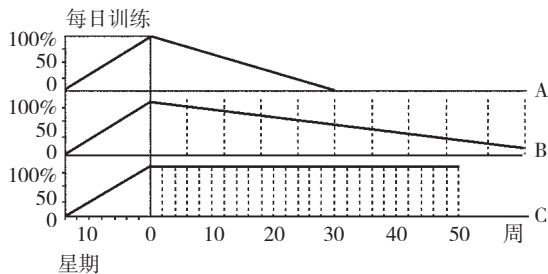


图 10-5 不同力量训练安排后力量素质消退的情况

训练以后不训练，第 10 周完全消退；训练以后每周训练一次，能保持较长时间；训练以后每周训练一次，基本保持原增长水平

三、影响力量训练的因素

训练负荷大小

根据人体适应性规律，在一定范围内力量练习的负荷愈大，力量增长的效果愈好。一般认为，采用 10%~20% 的重量能使肌肉粗大，力量和速度得到发展，但不能提高耐力，适用于举重的投掷运动员；采用 20%~30% 重量，使肌肉粗大，力量和速度也得到提高，但耐力不明显，适于百米跑、跳跃运动员；采用 30%~40% 的重量，肌肉增大不明显，但力量增加，速度和耐力也得到提高，对 100 米和 200 米跑运动员适合；采用 40%~50% 的重量可增多毛细血管和耐力，但对力量和速度提高不明显，适于中长跑运动员。

分析认为，大的负重（所举重量为 10% 以上）每次所克服阻力较大，要求神经系统机能极高，所以能显著增大力量；但又因所练的次数少，能量消耗少，且以无氧代谢供能为主，故对循环呼吸机能影响不大，增大肌肉体积也不明显，其主要提高肌肉的相对力量。而中等负重，由于负重适中，所练的次数较多，消耗的总能量也大，则主要能发展肌肉体积，对发展力量也有一定

的作用。非常轻的负重（如游泳运动员拉橡皮带）能坚持较长时间工作，主要可以发展肌肉耐力。

猿圆 速度快慢

进行力量训练时，速度的快慢是影响训练效果的因素。因为不同速度运动时主要募集的肌纤维类型是不同的，因此，可以通过改变力量练习的速度来发展不同类型的肌纤维。

一般负重大时，完成的动作速度将减慢；负重较轻时，动作的速度较快。根据教练员的经验，具有速度型力量特点的运动项目，应多采用连续快速挺举等练习，重量可轻，但速度要快。当然，也不排斥进行大负重练习。大负重时快肌纤维几乎全部被动员，所以也能发展爆发力。

猿圆 重复次数

每组练习重复次数的安排与负荷强度大小有直接的关系，负重强度大，重复的次数相应地就少，反之就多。练习的重复次数不同，对机体所产生的训练效应亦不同（表 猿源 源 源）。

表 猿源 源 源 力量练习时负荷强度、重复次数及生理作用

强度（豫）	重复次数	主要作用
猿缘以上	猿~ 圆	提高神经系统的兴奋性
猿缘~ 猿缘	圆~ 源	发展肌肉内协调能力
猿缘~ 猿缘	源~ 愿	提高速度力量
猿缘~ 猿缘	愿~ 猿圆	促进肌肉肥大
猿圆以下	猿圆次以上	提高力量耐力

摇摇摇摇依据：体育学院通用教材《运动训练学》

练习的组数也是影响力量训练效果的因素之一，组数多用于调整训练的总负荷。练习组数的确定要因人而异，组数的确定应当以不降低每组练习的重复次数为宜。

猿圆 练习的持续时间

练习的持续时间可根据训练的目的来考虑，如果是通过增大

肌肉的体积发展最大力量，动作的速度可适当放慢，每一动作的保持时间可稍长。如果是通过改善肌肉的协调功能来发展最大力量，运动速度可适当加快，每一运动可在控制时间内完成。如果是提高爆发力的力量练习，持续时间不宜太长，应让运动员以极限或接近极限的频率完成动作。

四、几种力量训练方法的生理学分析

力量训练的方法很多，以下仅分析根据肌肉工作形式分类的几种力量练习方法。

䄑动力性练习

这是一种肌肉收缩与放松交替进行的、最常见的抗阻力练习。对抗的阻力有自身体重或外部阻力。前者如引体向上、爬绳或竿；后者如举杠铃、哑铃、拉力器、负重蹲起等。这类力量练习过程中肌肉张弛交替没有静力紧张。因此，在增长肌力的同时对肌群间的协调能力也有一定益处。

动力性力量训练的效果，取决于科学安排负荷大小，重复次数的多少、练习速度的快慢、练习部位以及动作结构等诸多因素的合理性，上述因素变化，将使训练对肌肉结构及代谢过程的特点受到影响，也必将对肌群间的协调关系和神经对肌肉的共济调节产生影响。

不同运动专项，对力量素质特点的要求，不尽相同。上述因素常是考虑力量练习按项目特点分别要求的依据。如短跑需要速度型力量，投掷需要爆发用力，耐力则需要持久性力量等，这就要求择选恰如其分的练习。

儿童少年宜多采用克服自身体重的练习及轻负荷的练习，如立定跳远，引体向上，俯卧撑等。

䄑静力性练习

这种练习的生理效应是使运动神经细胞持续保持较长时间的

兴奋，这样有助于提高绝对力量和发达肌肉。由于静止紧张用力时，局部肌肉持续紧张，从而加大对毛细血管的压力，使该肌血氧供应减少，造成了该肌无氧化代谢能力适应性提高的良好刺激。

静力性练习省时间，能量消耗少，间歇少，使用器械也很少，能有效提高力量，特别对那些动力性练习中不大能练到的肌群，也能有目的地得到锻炼。

由于静力性练习时肢体静止不动，不仅不利于肌群间协调关系的改善，还容易疲劳。故在实践中还应经常与动力性练习结合，才能取得相辅相成的训练效果。另外，由于该练习血液循环条件不良易使血压升高，少儿和老年人不宜过多采用此练习。此练习一般采用紧张用力愿~愿译才能受到良好的效果，过短不能奏效，过长得到的是力量耐力。

猿等动练习

等动练习是美国印地安纳大学游泳教练康西尔曼发明的，这是一种在专门的等动练习器械下进行的练习，该练习器的主要结构是一个离心制动器上连一条尼龙绳，由于离心制动作用，绳被拉动越快，产生阻力越大，故器械所产生的阻力总是和用力的大小相适应，从而使关节运动处于任何角度情况下均能受到同等的较大负荷，肌肉在整个练习过程中均能产生较大张力的练习。此亦称等力性练习或等速性练习（图 猿源 源）。



图 猿源 源 三种肌肉收缩的对比

实践证明，等动练习比上述两种练习更能有效的增长力量。但不足之处：（员 练习必须有专门的器械；（圆 练习的速度受限，影响爆发力的发展；（猿 阻力方向有限，不能适应大多数专项动作的要求。因此，它还必须与其他力量练习方法进行科学组合，才能获得更好的训练效果。吕新颖等设计了一种“双人结伴的等动力量练习”，以伴练者用力产生与练习者对抗的阻力。此练习不仅不需要专门的器械，还摆脱了传统练习器“只能进行直线方向用力”的不足，且同伴练习之间还可以相互鼓励提高练习效果（图 猿- 缘 表 猿- 缘 。

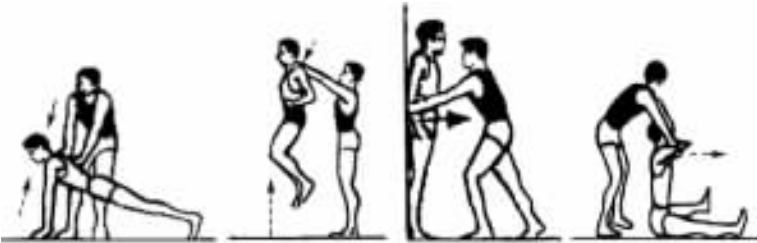


图 猿- 缘 双人结伴对抗性的等动力量练习

表 猿- 缘 等动和非等动两种练习方法 愿周

训练后的卧推杠铃成绩提高率的对比

组别	对比前 (kg)	对比后 (kg)	提高率	孕值
双人结伴的等动练习组 (n=10)	100.00	110.00	10.00%	约0.0001
卧推杠铃、俯卧撑练习组 (n=10)	100.00	105.00	5.00%	

依据：吕新颖 《田径》 猿年 第 圆期

离心练习

肌肉产生离心收缩的力量练习为离心练习，又称退让性练习。如杠铃举起后的慢慢放下。研究发现，肌肉收缩时所产生的最大离心张力比最大向心张力大 猿- 猿倍。可见，离心收缩是进行力量练习的最佳刺激。但一些运动实践证明，离心练习对增长肌

力的效果与向心练习略同，而同样负荷训练后，离心练习引起的肌肉酸痛的程度，却较其他练习方式明显。因此，离心练习似乎无显著优越性。吕新颖等设计的“双人结伴的强制性拉伸肌肉力量练习”属于离心练习，练习效果较为明显。分析认为：强制性拉伸肌肉时，练习者的肌肉以越来越受不了拉伸作用仍奋力收缩为背景，需要运动中中枢发放神经冲动去开发更多、更大的运动单位；另外，奋力收缩中的肌肉经常受到拉伸，会使腱梭发生适应性、敏感性下降，从而推迟了限制肌肉强烈收缩的神经冲动，使力量的潜力得到挖掘，这是一般力量练习难以达到的效果。

继续超等长练习

超等长一词译自英语“~~弹跳~~”，超等长练习是前苏联田径教练员尤里·维尔霍山斯基在1957年发明的。他主要是通过一种“跳深”的方法来提高运动员弹跳能力的，即运动员从1.5~2.0米高度落下后又迅速向上或向前跳起的动作练习。超等长练习的确切含义是指肌肉在离心收缩之后紧接着进行向心收缩的力量练习，这样的肌肉工作能够产生超常态的爆发力。由于体育运动中许多动作都是这种肌肉预先被强制性拉伸，随即再进行快速缩短的方式。如：跳跃中的“放脚缓冲和蹬伸”动作、掷标枪中的“满弓后的鞭打挥臂”动作等。这样的肌肉工作不仅能够产生超常态的爆发力，而且更接近运动实际。所以，它是各项运动中发展爆发力的最佳方法之一。

超等长练习之所以能增加肌肉收缩效果主要在于其离心收缩时产生的效应。其增力效应至少有：使肌肉收缩前处于最适初长度、提高肌肉弹性成分的弹性势能、通过牵张反射增强神经肌肉的激活能力等三种途径。这三种途径中，牵张反射是最为活跃的因素。因为牵张反射的感受器——肌梭，是一个按比例的积分感受器，其离心收缩时伸展幅度越大、越快、越突然，反应就越强

烈。另外，由于肌梭的传出神经冲动只有与引起向心收缩的神经冲动叠加在一起才能起到增力效应。所以，离心收缩与向心收缩的偶联时间越短，这种“叠加效应”越好。为了提高牵张反射对肌力的贡献率，在力量练习时不仅要在离心收缩阶段尽量增加对肌肉牵拉的刺激强度，还要尽量缩短离心一向心收缩的偶联时间。如：在立定跳起时，应做“快速预蹲接快速起跳”。投掷用力时，应将“挺胸挥臂”改为“振胸挥臂”，这样才能有效地提高爆发力。

由于这种超等长练习中有肌肉的离心收缩工作时相，其练习缺点与离心练习一样，容易发生运动损伤，所以它不能作为唯一的力量练习方法。

第二节 速度素质

速度素质是指肌肉工作时用最短的时间完成动作的能力，它是体育运动中最重要的运动能力之一。速度在运动中表现为三种形式：反应速度、动作速度和周期性运动的位移速度。

反应速度是指人体对各种信号刺激的快速应答能力，如短跑从发令到起动的的时间。

动作速度是指人体快速完成单个动作的能力，如投掷运动员的器械出手速度。

位移速度是指单位时间内人体快速移动的能力，如跑速、游速等。

在大多数运动项目中，上述三种形式都会综合表现出来，但是不同的项目中，三者结合的比例和形式各有特点。

一、决定速度快慢的生理基础

反应速度

反应速度的快慢取决于兴奋通过反射弧所需要的时间，与神经肌肉组织的兴奋性和灵活性有关。衡量反应速度的生理指标大多数是采用反应时。反应时的长短取决于感受器接受刺激产生兴奋，兴奋沿反射弧传递，直至引起效应器开始兴奋所需要的时间。反射弧的五个环节中传入神经和传出神经的传导速度基本变化不大，所以反应速度主要取决于感受器的敏感程度（兴奋阈值的高低）中枢延搁和效应器（肌肉组织）的兴奋性。其中，中枢延搁又是最重要，反射活动愈复杂，历经的突触愈多，反应也就愈慢。

反应速度还与中枢神经系统的兴奋状态有密切的关系，如当运动员处于良好的赛前状态时反应时缩短（表 猿源- 远）。还有的研究表明，当身体处于一定的肌肉紧张准备状态下反应时可以缩短 苑豫，此外反应速度还取决于条件反射巩固的程度，随着运动技能的日益熟练反应速度缩短，通过训练反应速度可以缩短 员豫 ~ 圆豫。

表 猿源- 远 赛前状态时各项运动的运动员光潜伏期的变化（毫

项目	安静时	良好赛前状态时
田径	猿园	圆猿
击剑	猿猿	圆苑
射击	猿猿	圆员
游泳	猿猿	员员

摇摇摇摇依据：高等学校教材《人体生理学》

动作速度

动作速度的快慢取决于：

（员 纤维类型的组成百分比和面积。快肌纤维比例愈大，

快肌纤维愈粗，肌肉收缩速度愈快。

（圆 肌肉收缩力量。肌肉力量愈大，愈能克服肌肉内部及外部阻力完成更快的工作。凡是影响肌肉力量的因素也将影响动作速度。

（猿 肌肉组织的兴奋性。组织的兴奋性高，表示刺激强度低且作用时间短就能引起肌肉组织的兴奋。

（源 条件反射的巩固程度。条件反射愈巩固，动作愈熟练，动作速度就愈快。

另外，动作速度也与神经系统对主动肌、协同肌和对抗肌的调节能力有关。在完成成套动作中，还与肌肉的无氧代谢能力有密切的关系。

动作速度的生理指标大多采用动作时，它是指从动作开始到完成动作所需要的时间。从表 猿- 苑中可以看出不同项目的运动员，有的反应时较短而动作时较长，有的相反即动作时较短而反应时较长，即反应时和动作时的变化并不一定同步。

表 猿- 苑摇日本运动员全身反应时（跳跃） 的比较（泽

运动专项	反应时	动作时	总时间
短跑（男）	0.147	0.154	0.301
跳跃（男）	0.154	0.154	0.308
中长跑（男）	0.154	0.154	0.308
马拉松（男）	0.154	0.154	0.308
排球（女）	0.154	0.154	0.308

摇摇摇依据：高等学校教材《人体生理学》

猿 位移速度

以跑为例，跑速主要决定于步长和步频两个变量，而步长与步频又受多种生物学因素所制约。步长受肌肉力量的大小、髋关节的柔韧性及腿长等因系制约；步频除受快肌纤维百分比影响外，主要受大脑皮层运动中枢神经过程灵活性及各神经中枢间协

调性所制约，如图 猿- 远所示。

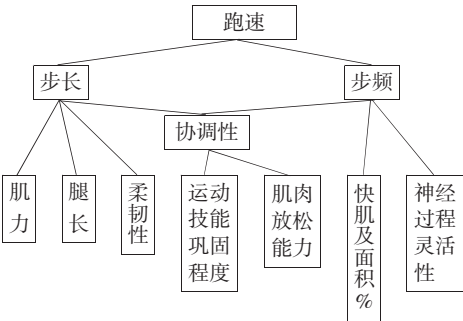


图 猿- 远影响步长与步频的主要生物学因素

速度练习时间短主要依靠磷酸原系统供能，因此磷酸原供能力愈强其速度愈快。通过速度训练，肌肉中 悦孕的含量会增加。

另外，跑速还受各中枢间的协调关系的影响。其协调性的提高，能增快有关动作的速度，也能加大肌肉收缩的力量。因为运动技能越巩固，各协同肌群及对抗肌群间协调关系就能得到改善，从而减少了因对抗肌群的紧张而产生的阻力。研究发现，短跑运动员百米成绩由 员秒缩短到 员秒的诸因素中，其中由于爆发力提高占 圆豫，力量加大占 员豫，而肌肉放松能力的改善则占 圆豫。二百米跑中肌肉放松能力提高的作用更为显著，如由 圆秒缩短到 圆秒，肌肉放松能力占 源豫，力量占 远豫，爆发力占 员豫。所以速度性项目现在都非常重视肌肉的放松训练。

二、速度素质的训练

反应速度在很大程度上是由遗传所决定的。通过各种突发信号刺激、专门性练习等可以使人受遗传因素影响的反应速度最大限度地表现并稳定下来；动作速度主要受肌肉的快速力量影响，

任何快速力量练习方法亦是动作速度的训练方法；位移速度是一个综合能力的表现，下面重点介绍位移速度——短跑的训练方法。

完善技术的练习

人体的快速移动能力在很大程度上取决于完善运动技术，因为位移时动作的幅度与半径大小、工作距离长短、工作时间多少及动作的方向、角度与部位等都与速度的快慢有密切关系。合理、有效的技术可以通过缩短运动杠杆，正确摆正重心，有效地使用能量等作用快速完成移动动作，并能使位移完成更省力、更协调。

利用助力的练习

在位移速度练习中，可利用外界自然条件的助力和人为因素的助力来发展位移速度。外界自然条件的助力是指利用风的方向和水的流向及重力方向，如：顺风跑、顺水游、下坡跑等，这些方法对提高动作速率既经济又有效。人工因素的助力可分人为助力和机械助力。人为助力是教练员或伴练者的直接或间接施加与运动员运动方向一致的力，帮助运动员提高位移速度，如：一带一、快带慢的牵引跑；机械助力是由专门的机械设备的牵引形成的，如：摩托车牵引、牵引机的牵引等。这些练习都有利于提高跑的步频。

短跑成绩是以提高步长还是步频为主，目前在体育界内还有争论。有人认为发展速度最佳时期为 12~15 岁，因此对成年运动员能否提高步频持有怀疑态度。桑德威克（1952 年）认为步频是可以改变的，他采用牵引跑（用汽车牵引运动员跑）及在跑台上跑的办法，使运动员不缩短步长情况下进行增加步频的训练，效果是惊人的，在 6 个星期训练后该运动员 100 码成绩由 15.5 秒提高到 14.5 秒。当然，在运用助力练习时，应遵循循序渐进的原则。

猿利用后效作用的练习

据说，加拿大短跑明星本·约翰逊在每次比赛前都要完成最大负荷重量的下蹲练习，目的在于激活神经系统，以提高其爆发力。从神经肌肉生理特点来看，这种利用大负重后获得的“后效作用”确实能起到增速的作用。因为最大负荷用力时，为了动员更多的运动单位参与工作，大脑皮质运动中枢发放强而集中的神经冲动，并在此产生“强烈用力”的痕迹，为接下来的爆发力准备好强大的动力势能。亦即大脑皮质运动中枢在重量减轻后的动作练习时，仍保持强烈用力的运动指令。虽然在最大负荷力量练习时没有表现较快的速度，但在重量减轻后的动作中表现出前所未有的速度。所以，在运动实践中为了提高速度，在做该动作前最好先完成一些与该动作有关的大负重练习。如短跑前先完成几次大负重的下蹲，或先完成一些对抗同伴队员给予阻力的快跑练习等。

源短时、高强度的练习

短跑的供能方式主要依靠磷酸原系统，而这个系统供能时间最多能持续 苑秒。因此，发展磷酸原系统的供能潜力须采用最大强度而持续时间相对较短的练习，一般可用 猿米至 远米的反复疾跑，或相当于这种强度的其他练习。反复跑时，每次练习要使机体机能完全恢复后再跑第二次。这样不至于降低跑的速度。另外，为了提高供能效率、改善运动中枢间的关系，还要注意进行肌肉协调放松能力的训练。

缘力量练习

腿部力量对发展步长来说是十分重要的，所以在短跑训练中要十分注意力量练习。除利用杠铃等举重器械进行力量训练外，短跑运动员还要经常进行超等长练习（蛙跳、单腿连续跳等）、上坡跑及负重跑等练习，以提高肌肉收缩的快速力量。

远预防和消除“速度障碍”

速度素质发展到一定水平，常会出现提高缓慢，甚至停滞不前的现象，此被称为“速度障碍”。这是由于神经—肌肉系统发展到一个高峰，练习中常用不变化的手段使训练量与强度对人体没有新的刺激作用，使频率节奏、技术等都达到一个相对稳定的状态所致。因此，为了克服这种现象，继续提高速度，就应做到：(员 加强基础训练。使运动员掌握好基本技术，全面提高水平，扩大机体能力，为提高专项能力打下扎实的基础，这可使速度障碍来得迟些。(圆 训练手段多样化。以不同的节奏和频率完成动作，建立中枢神经系统灵活多样的条件反射，可以防止或减缓速度障碍。(猿 如果已经出现了“速度障碍”现象就应有计划、有针对性地发展运动素质，改进运动技术，加大训练的量 and 强度，加大刺激，利用各种手段与其作斗争。如：上下坡跑、变速跑、顺风跑、牵引跑等，改变已形成习惯的动力定性，改变中枢神经系统的反射联系，建立新的条件反射。

第三节 耐力素质

耐力素质是指有机体长时间工作抗疲劳的能力。耐力表现为长时间完成某一强度所能持续的时间。从事任何运动项目都要求具有相应的耐力素质，对于那些必须具备高度发展的耐力素质的运动项目，发展耐力就显得更为重要。

按照运动时的外在表现，可划分为速度耐力、力量耐力、一般耐力；

按照肌肉工作所影响的主要器官系统，可分为肌肉耐力和心肺耐力；

按照所参加运动的能量供应特点，可分为有氧耐力和无氧耐力；
按照耐力素质与专项运动的关系，可分为一般耐力和专项耐力；
按照参加主要肌群的数目，可分局部耐力和全身耐力。

本节重点从有氧耐力和无氧耐力的角度进行讨论。

一、有氧耐力及其训练

有氧耐力是指长时间进行有氧工作（该工作是靠肌糖原、脂肪等有氧氧化分解供能）的能力。有氧训练是指发展有氧耐力的专门训练。

决定有氧耐力的生理基础

肌肉长时间工作必不可少的条件是要有足够的能量供应，肌肉收缩离不开 势能，因此，势能必须得到不断的补充。由于大多数 势能都是在有氧条件下生成补充的，所以，足够的血流量，亦即充足的氧供应是最佳耐力的基础。显然，要在运动中获取充足的氧供应，关键在于肺的通气与换气功能，血液循环功能以及肌组织利用氧的能力等四方面所处的水平状况。现将耐力提高的有关因素概括如图 猿源-苑所示。

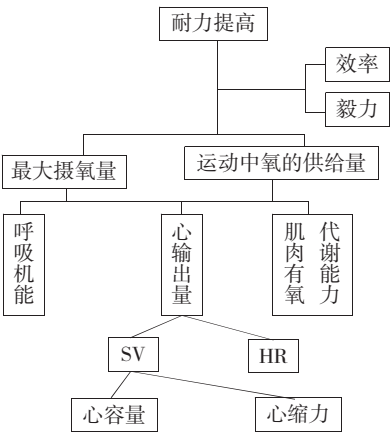


图 猿源-苑促进耐力提高的生理因素

（员 心肺功能。心肺功能的强弱是有氧耐力素质的重要生理基础，强有力的心肺功能，是运动中供氧充足的保证。长期进

行有氧耐力训练,可使心脏出现运动性肥大,这种心脏肥大是耐力选手心脏的适应。在较长时间的持续运动中心输出量一直持续在较高水平,称为容量性应激。此时,静脉回流量增多使大量血液充满心脏引起舒张末期压升高,心室容量增大(前负荷或容量负荷),心肌纤维被拉长,久之,造成心腔扩大,而致“张力性扩张”。长期的有氧训练还可使心肌氧化代谢的蛋白质合成增强,如线粒体数量增多功能提高,毛细血管数量增加,改善心肌有氧代谢条件。

耐力训练是使心脏泵血功能增强的另一个特征,使安静时心率减慢(心搏徐缓),每搏输出量增加。优秀的耐力选手安静时心率可低于 $100 \text{次} \cdot \text{分钟}^{-1}$,这样会使人运动时有很大的心力贮备能适应长时间持续运动的需要。

心肺功能强弱的一项综合生理指标就是最大吸氧量。大量研究证明,训练有素的耐力选手最大摄氧量较一般人大。

(圆) 骨骼肌特点。有氧耐力的强弱和肌组织利用氧的能力密切相关,骨骼肌的某些适应性变化也是影响有氧耐力的重要生理因素。长期的有氧训练还可以使慢肌纤维产生肌浆型功能性肥大,即非收缩成分如糖原、磷酸肌酸、肌红蛋白、线粒体及毛细血管数量的增加等。实验证明,优秀的耐力选手慢肌纤维肥大就是属于这种类型。可见,耐力训练可使骨骼肌发生有氧能力增强的适应性变化。

(猿) 能量供应特点。耐力运动的能量供应绝大部分是有氧代谢供应,即是由糖和脂肪在氧供应充足的条件下氧化分解,放出大量能量供长时间运动的需要。在长时间耐力练习中,肌糖原、肝糖原逐渐消耗,脂肪供能的能力逐渐加大(表 14-1)。

(源) 神经系统的调节能力。耐力训练能提高大脑皮质神经细胞对刺激的耐受力,在长时间的传入冲动作用下不容易转入抑制状态,从而能长时间地保持兴奋与抑制有节律转换能力,使肌

肉活动节律化。

表 猿源 不同持续时间中糖和脂肪的供能比例

运动时间	园~猿园min	猿园~远0min	远0~怨0min	怨0~180min
需氧量 (L·min ⁻¹)	10~15	15~20	20~25	25~30
糖供能比例 (豫)	75	70	65	60
脂肪能比例 (豫)	25	30	35	40

依据：高等学校教材《人体生理学》

耐力训练还能促使运动动力定型改善，提高各神经中枢的协调关系。首先，使运动中枢的兴奋和抑制更加协调，节省能量消耗；其次，使氧运输系统的功能更好地与肌肉活动的情况相适应，使摄氧量与需氧量达到相对平衡，从而能长时间地坚持活动。

最大摄氧量与有氧耐力

运动时体内贮存的糖、脂肪类能源物质是足够的，但是否能进行有氧供能，关键在于有无足够的氧供应给肌细胞，以及肌细胞能否利用所供给的氧氧化上述能源物质。

最大摄氧量是指运动时每分钟能够吸入并被身体利用的氧的最大数量。一般人最大摄氧量为 2.0~2.5 L·min⁻¹，运动员可达 3.0~3.5 L·min⁻¹。这一数值的高低，取决于运动员的呼吸系统、循环系统的机能，以及血液中血红蛋白的数量和肌肉的有氧代谢能力等因素。

据国外的研究，优秀的耐力项目运动员的最大吸摄量较其他项目的要高，男子平均为 3.5~4.0 L·min⁻¹，女子为 2.5~3.0 L·min⁻¹。世界著名的肯尼亚中长跑运动员凯诺 (男，5000米成绩 猿圆min) 的最大摄氧量为 4.0 L·min⁻¹。人的耐力与最大摄氧量高低密切相关 (表 猿源 怨)，所以它常作为衡量有氧耐力的指标。

个体乳酸阈与有氧耐力

与最大摄氧量相比，大多数人认为个体乳酸阈更能反映人体

实际的有氧工作能力。事实上，任何人在任何情况下都不可能在达到最大摄氧量以后才开始转向无氧代谢，例如，有的运动员最大摄氧量是相近的，但其中一个运动员在较低强度负荷（源圆豫灾韵）时即已开始向无氧代谢过渡；而另外一个运动员到远圆豫灾韵时才开始向无氧代谢过渡。显然，在从事以有氧供能为主的项目中，后者的有氧耐力就将优于前者。换句话说，个体乳酸阈反映了剧烈运动中人体保持有氧代谢的能力。

表 猿源 怨 不同专项男子运动员的最大耗氧量

运动专项	国别	例数	最大耗氧量	
			蕴·皂·皂 ^原	皂·皂·皂 ^原
马拉松跑	前苏联	远	猿	苑愿
	日本	缘	源猿	苑
	中国	怨	猿猿缘	远源
长跑	前苏联	员	猿	苑愿
	瑞典	猿	源源	苑源
	挪威	愿	源苑	苑源
	日本	猿	猿	苑源
	中国	愿	源源	远源苑
中跑	前苏联	员缘	猿	远源
	瑞典	缘	缘源	苑源
	日本	猿	猿	远源
	中国	苑	猿苑	远源缘
短跑	日本	猿	猿	远源猿
体育爱好者	中国	怨	猿苑	缘源
体院学生	中国	源苑	猿苑苑	缘源
无训练者（圆员~圆缘岁）	瑞典	猿	猿源~猿怨	源~缘
无训练者	日本	猿	猿源	源源

依据：高强等，员怨愿年

不少学者认为与最大摄氧量相比，个体乳酸阈还很少受遗传因素影响，可训练性较大。特别是用个体乳酸阈强度训练，可使

运动员花费较小的生理消耗，获取更大的成绩提高。所以在耐力训练过程中，阶段性的测定个体乳酸阈，不仅可为有氧耐力选手提供最佳强度的科学依据，还可以判断有氧耐力的增长情况，进而据此调整训练计划。

二、有氧耐力训练

在训练中经常采用的有持续性练习及间断性练习两种训练方法（图 猿源-愿）。

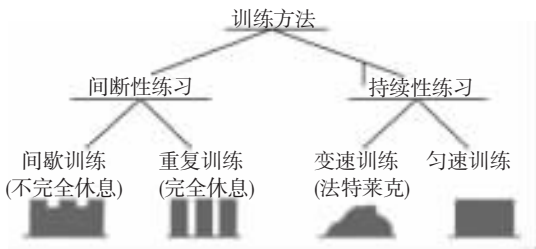


图 猿源-愿 两类训练方法示意图

持续或间断练习的差别在于间断练习能完成较多的工作量。有人研究发现让某受试者持续不断进行一项每分钟完成 圆园园 千克米的工作量，只能持续 怨园 秒。如果用同样的负荷，每活动 猿园 秒后休息 猿园 秒，就可以坚持 员澡。

持续性练习可根据速度是否变化而划分为变速训练（如法特莱克训练法）及匀速训练两种。间断性练习也可根据两次练习间的休息间隔是否能使人体工作能力完全恢复而划分为间歇训练（休息间隔较短，人体工作能力尚未完全恢复就进行下一次练习）及重复训练（休息间隔长，下一次练习前足以使人体工作能力复原）两种。这几种训练方法在强度、持续时间及间隔时间安排上的区别可以对人体各系统、器官等的机能能力产生不同的影响。

通常采用较低强度、持续时间长的持续性练习（长跑、长

泳等) 及长段落的间歇训练来发展运动员的有氧耐力。在使用上述训练方法时选择适当的训练强度是最为重要的。工作强度及所能持续的时间两者又是相互制约的, 强度较低的工作能持续较长的时间, 但又不能充分动员人体的呼吸—循环系统机能, 不能有效地发展有氧代谢系统; 相反, 强度过高时, 持续时间缩短, 且供能特点可能发生改变。所以选择合理训练强度是当前运动训练中有待解决的问题。关于个体乳酸阈的研究, 是为探讨有氧训练负荷的“最佳化”开拓了一条新的途径 (见前, 不再赘述)。

二、无氧耐力及其训练

无氧耐力是指身体处于氧供应不足的情况下, 较长时间对肌肉收缩供能的能力。

决定无氧耐力的生理基础

(员 肌肉中无氧酵解供能能力。无氧耐力的主要能源是靠糖无氧酵解供给的。因此, 糖酵解供能能力的优劣, 是决定无氧耐力强弱的重要因素。柯蒂斯尔等 (猿苑年) 发现优秀赛跑运动员腿肌中乳酸脱氢酶 (参与无氧酵解的酶) 和磷酸化酶 (参与无氧磷酸原分解的酶) 的活性, 短跑最高, 中跑居间, 长跑最低 (表 猿源 猿圆。说明无氧耐力与肌肉无氧酵解能力的关系十分密切。

表 猿源 猿圆 不同径赛运动员 (男) 肌纤维组成及酶活性的比较

项目	人数	慢肌纤维 豫	乳酸脱氢酶	磷酸化酶
短跑	圆	圆园园园	猿源苑	猿源猿
中跑	苑	缘怨怨	愿愿	愿源
长跑	缘	远源原	苑源	愿员

依据: 柯蒂斯尔, 猿苑年

(圆 消除乳酸的能力。乳酸是一种较强的酸 (责) 越源, 在肌肉中产生后即迅速进入血液。血液对乳酸的缓冲能力强弱,

主要表现在碳酸钠的多少及碳酸酐酶（促进碳酸分解的酶）活性的高低。一些研究证明，经常进行无氧耐力训练的运动员，血液中碳酸酐酶的活性明显提高，显示其血液对乳酸的缓冲能力提高。

③ 脑细胞对血液酸碱度变化的耐受力。血液中虽有缓冲物质能将进入血液中的乳酸中和一部分，减弱它的酸度，但因进入血液的乳酸量很大，血液的酸碱度最后还是会向酸性发展，加之因氧供应不足而导致代谢产物的堆积，给脑细胞的工作带来不便，脑细胞对缺氧及血液 pH 值变化十分敏感。因此，影响无氧耐力的另一个因素就是脑细胞对血液酸碱度变化的耐受能力。经常进行无氧训练的运动员脑细胞的这种耐受能力得到了提高。

④ “动机”对耐酸性的影响。在无氧功率的测试时，常常会发现受试者未必都能反映生理的紧张程度，其结果往往受各种心理或动机因素的影响，若对受试者进行很大的鼓励和激励，才能使他们达到可被接受的标准。具有较佳的“吃苦精神”或有“奋斗毅力”、能驾驭疲劳运动引起的不舒适感的人，肯定能完成更多的无氧工作。这些人通常产生较高的血乳酸水平与消耗大量的糖原，当然他们也能在短期剧烈运动中取得较好的成绩。

⑤ 无氧耐力的训练

① 间歇训练。在增强无氧耐力的各种训练方法中，间歇训练是最常用的训练法。作为增强无氧耐力的间歇训练的强度要大（大于 30% 的最大摄氧量），同时跑的段落及间歇时间均要以能产生较高乳酸浓度为依据。一般练习时间要长于 猿~ 猿 分钟为宜；间歇时间要比运动时间长 圆~ 猿 倍，对提高无氧耐力的效果最好。因为在 猿~ 猿 分钟运动时肌肉中大量产生乳酸，而在 圆~ 猿 分钟间歇中肌乳酸大量扩散进入血液使血乳酸大大提高，在尚未消除之前就进行下一次练习，使血乳酸逐渐上升，最后可赶达 圆~ 猿 分钟运动时的水平（图 猿- 怨）。

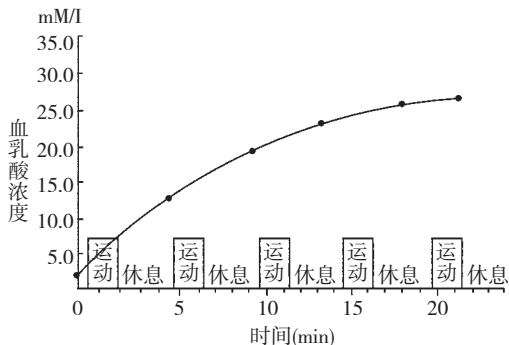


图 5 间歇跑员在休息源上的缘次间歇快跑后血乳酸浓度变化

(四) 高原训练和缺氧训练。高原环境空气中缺少氧气，人在缺氧条件下进行系统训练，对心肺功能提出了更高的要求，有利于发展有氧和无氧耐力的能力，使人体对缺氧产生适应。目前一般采用 1500m~2500m 之间的高原训练。

缺氧训练不仅在高原环境中，在平原特定环境条件下人工模拟缺氧仿高原训练，同样可以获得一定的训练效果。如：高原低氧训练仪、低压舱等。缺氧训练还可采用减少呼吸频率的方法进行练习，例如：跑步时，用“三步一呼，三步一吸”的方式来控制呼吸；甚至有人提出用“戴口罩进行训练”的方法，其目的就是造成体内缺氧来提高无氧耐力的能力。

第四节 摇灵敏素质

灵敏素质是指人体在各种突然变化的条件下，快速、协调、敏捷、准确地完成动作的能力。它是人的运动技能、神经反应和各种身体素质的综合表现。它与人对空间定位和对时间的感觉能力有关，也与速度和力量的发展有关，同时与协调能力和反应能力等有着直接联系。在球类、武术、散打、拳击、摔跤、击剑和

体操等许多运动项目中，都要求运动员能在客观环境急剧变化的条件下迅速表现出对动作的准确判断、灵活应变，要有快速敏捷的反应、高度的自我操纵能力以及迅速改变身体或身体某部位运动方向的能力。这些都是灵敏素质的表现内容，因此，灵敏素质的提高与发展在体育运动项目中极为重要。

一、决定灵敏素质的生理基础

䄀大脑皮层神经过程的分析综合能力和灵活性

大脑皮层神经过程的分析综合能力和灵活性是指机体在内外环境发生变化时，能够迅速作出判断，并依此发动、制止或改变动作行为和其他功能反应的能力。它与运动员运动技能巩固的程度和运动经验密切相关。运动技能越巩固或大脑皮层动力定型越完善、运动经验越丰富，运动员的分析综合能力越强，动作反应也就越快速、协调和灵活。

䄀感觉器官的功能

感觉器官具有为中枢神经系统提供体内外环境变化信息的功能，因此在决定灵敏素质的好坏方面具有特殊的作用。研究表明，运动员的感觉器官不仅具有较好的敏感性，而且还有一定的运动项目特点。例如体操运动员具有较好的本体感觉和位觉，篮球运动员具有较大的视野，乒乓球选手具有良好的速度判断和精确的定位能力。

䄀运动技能的熟练程度

灵敏是中枢神经系统控制机体迅速作出反应的一种身体能力，与机体自身已经掌握的运动技能数量及其熟练程度有关。运动技能越多越熟练，大脑皮层的中枢联系就越快速和准确，动作反应也就越灵活。

䄀其他身体素质的作用

良好的灵敏素质需要其他身体素质的保障，力量、速度、耐

力、柔韧都是人体适应复杂环境变化，迅速和准确作出反应的基础。

除此以外，灵敏素质还受年龄、性别、体重和身体疲劳程度等多种因素的影响。一般认为，少年时期灵敏素质的发展最快，男生较女生灵活，尤其是在青春期以后；体重过大，肌肉收缩的负荷增大，反应速度减慢；身体疲劳时，神经系统的功能、肌肉力量等下降，灵敏素质因此下降。

二、灵敏素质的练习方法

灵敏素质是人体综合能力的反映。为了提高灵敏素质，教练员应尽可能采取逐渐增加复杂程度的练习方式，也可以通过改变条件、器械、器材等方式增加技术动作的复杂性和难度。同时，还应着重培养和提高运动员掌握动作的能力、反应能力、平衡能力、观察能力、节奏感等。在发展灵敏素质过程中，应特别强调提高力量、速度、耐力、柔韧素质等，这是发展灵敏素质的基础。竞技体操、武术、技巧、滑冰、滑雪、各种球类运动等项目都是发展灵敏素质的有效项目。在专项练习复杂化的条件下反复练习与专项运动性质相似的动作，也是发展专项灵敏素质的有效途径。

三、发展灵敏素质的注意事项

1. 练习方法、手段应多样化并经常改变。

2. 掌握本专项一定数量的基本动作。

3. 抓住发展灵敏素质的最佳时期，要从少儿抓起。

4. 灵敏素质练习时应注意消除练习者的紧张心理。

5. 合理安排好训练时间，让练习者处在体力充沛、精神饱满、运动欲望强的状态下进行练习。

6. 灵敏素质练习应具有专项化的特点，使训练效果与专项

要求一致。

第五节 柔 韧 素 质

柔韧素质是指跨关节的肌肉、肌腱、韧带等软组织的伸展能力及弹性，亦即关节活动幅度和范围的大小。

柔韧素质分为一般柔韧素质和专门柔韧素质两种，一般柔韧素质是指适应于一般身体、技术、战术等所需要的柔韧素质；专门柔韧素质是指专项运动所需的特殊柔韧素质。

根据其外在表现又可分为动力性柔韧素质和静力性柔韧素质，根据其练习方式又可分为主动柔韧素质和被动柔韧素质。

柔韧素质对于从事体操、摔跤、游泳等项目的运动特别重要，对于提高动作质量方面具有重大意义，柔韧性越好动作就越协调、优美、舒展。目前，在各国教学训练中特别重视在准备活动中增加柔韧性的练习，这对于预防损伤有重要作用，还有把伸展练习列为整理活动的一项重要内容，目的是减少肌肉酸痛，促进疲劳的消除。

一、决定柔韧素质的生理基础

■肌肉、韧带组织的伸展性

肌肉、韧带组织的伸展性不仅取决于性别和年龄特征，而且与中枢神经系统的兴奋性有关。如：在比赛中情绪高涨时柔韧性会提高。

肌肉的伸展性与肌肉温度有关，通过准备活动，提高肌肉的温度，降低肌肉内部的黏滞性，有利于柔韧性的提高。

■关节面的结构

关节面的结构是影响柔韧性最不容易改变的因素，它基本上是由遗传决定的，但训练可以使关节软骨增厚，使骨阜和骨槽变

得更合槽。

猿阵龄

年龄越小，柔韧性越好，提高越快，青年以后，柔韧性提高缓慢，成年、中年如不坚持锻炼，柔韧性就会减退。

猿体温

刚睡醒，体温低，柔韧性差；肌肉活动可使体温升高，肌肉内部的黏滞性降低，柔韧性能明显提高。因此，锻炼前做好准备活动或赛前按摩，均有增加肌肉的温度，提高柔韧性的作用。

猿关节周围组织的体积和肌肉

身体内的脂肪含量过多，肌肉体积过大都会影响邻近关节的活动幅度使柔韧性降低。如：有些铅球投掷选手的投掷臂肌肉高度发达，使大小臂难以折叠，不能将铅球放在锁骨窝处，以至于使田径规则不得不改为“将铅球放在颈部或下颌”。

猿中枢神经对骨骼肌的调节能力

中枢神经对骨骼肌的调节功能的改善，主要是通过主动肌与对抗肌之间协调性的改善，使主动肌收缩对抗肌放松，降低动作的阻力，保证运动幅度的加大。

二、发展柔韧素质的方法

猿主动或被动的静止性拉伸方法

缓慢的将肌肉、肌腱、韧带拉伸到一定酸、胀、痛的感觉位置并略有超过，然后停留一定时间的练习方法。此法可以减少或消除超过关节伸展能力的危险性，防止拉伤。由于拉伸缓慢不会激发牵张反射，一般要求在酸、胀、痛的位置停留 远~愿泽 重复 远~愿次。

猿主动或被动的动力性拉伸方法

有节奏的、快速的、幅度逐渐加大的多次重复一个动作的拉伸方法。主动的动力性拉伸是靠自己的力量拉伸，被动的动力性

拉伸方法是靠同伴的帮助或借助外力的拉伸，但外力应与运动员被拉伸的可能伸展能力相适应。

三、发展柔韧素质的注意事项

柔韧素质的发展是需要意志力的练习。痛感强，见效慢，停止训练便有所消退，因此应持之以恒才能见效。

柔韧性练习往往是同训练课的准备活动相结合的。可以先进行一定的动力性练习，使体温略有升高，肌肉黏滞性降低，中枢神经系统兴奋性略有增进后，再着手柔韧性练习。

提高肌肉放松能力。主动放松肌肉的能力越好，关节活动时所受肌肉牵拉的阻力越小，关节活动幅度越大。

柔韧性练习也要和力量练习相结合。因为柔韧性练习往往会使力量练习引起肌肉产生紧张性增强的僵直状和延迟性疼痛现象减轻，也可以使肌肉体积的增长不会影响关节活动的幅度。

柔韧性练习要注意年龄特征，并要持之以恒。年龄越大，柔韧性越差，因此从少儿时期开始进行系统训练，是发展柔韧素质的最主要办法。成年后，只要坚持经常练习，已经达到的柔韧性可以保持很久。

思考题

名词解释：

运动素质 力量素质 速度素质 耐力素质 柔韧素质
灵敏素质 有氧耐力 无氧耐力 反应速度 动作速度
位移速度 动力性练习 静力性练习 等动练习 离心练习
超等长练习

试述力量素质生理学基础。

简述发展肌肉力量的原则。

简述不同的力量训练方法对力量发展的影响。

试述速度素质生理学基础。

1. 试述有氧耐力的生理学基础。

2. 试述无氧耐力的生理学基础。

3. 试述灵敏素质的生理学基础。

4. 试述柔韧素质的生理学基础。

一种非专用器械的离心力量练习——强制性拉伸肌肉

一、前言

“强制性拉伸肌肉”实际上属于一种等动离心力量练习。即：肌肉在练习中虽积极地收缩，却被强制性拉伸的作用力拉长了的工作形成。与肌肉的其他几种收缩形式相比，它的最大特点是能使肌肉产生较大的张力。早在 1904 年就有研究者（贝德）用青蛙实验证实了强制性拉伸肌肉后的肌力超过最大静力性肌力的 1.5 倍。还有研究者认为，离心收缩所产生的张力比最大向心收缩力大 1.5 倍左右。可见，离心收缩是进行力量练习的最佳刺激。但在运动实践中，目前还缺乏适当的离心力量练习器械。现在较理想的离心力量练习器械为 哑铃、杠铃等具有离心功能的等速测试及康复系统。

但这类器械价格昂贵，不可能被普遍采用；那些现行传统的、非专用器械的离心练习也往往达不到满意的训练效果。因此，至今离心练习还未被普遍采用。

二、传统离心练习的缺点

传统的离心力量练习往往是利用慢放重物或缓冲自身运动产生的冲击力的动作来完成的。

慢放重物的练习一般都是靠运动员先将重物举起后再慢放，亦即离心练习的完成必须在向心练习之后，这就很难保证神经肌肉的高度集中，离心练习的强度必然受到影响。如果靠伴练者帮助举起再慢放，伴练者需完成的负荷量可能会比练习者还要大。何况离心练习的负重经常会达到练习者 1.5 倍以上，这就使伴练者很难奉陪下去。

在缓冲冲击力的练习中，身体运动后产生的冲击力是难以控制的，有时可能高达自身体重的 1.5 倍（如从高处跳下的落地缓冲）。这样强

的刺激易引起肌肉拉伤。

猿队理论上讲，离心练习对肌肉的刺激毕竟还是其他力量练习难以达到的。所以，训练者把它与向心结合起来完成，成为一种所谓的“超等长练习”（如跳深等）。但在运动实践中，大多数都是下肢的力量训练采取这种超等长练习，还没人设计出更好的上肢和躯干肌的超等长练习方法。

三、强制性拉伸肌肉的力量练习方法

强制性拉伸肌肉是笔者根据离心练习原理设计的一种双人结伴完成的力量练习法。具体练法是：练习者先靠肌肉的等长收缩将肢体固定于某一位置，作好对抗伴练者（或教练员）拉伸的准备后，伴练者在练习者的肢体端施加与其肌肉向心收缩引起肢体运动方向相反的力，用力将练习者的主要用力肌拉长。下面举几例躯干和上肢的练习方法：

①练习者抱头坐做好准备后，伴练者施力于其肩或肘部，强制性将其拉至仰卧位。

②练习者俯卧抱头或双手放在背后，抬头、挺胸、伸背做好准备后，伴练者施力于其颈或肩部、强制将其按下为俯卧位。

③练习者单杠屈臂悬垂时，伴练者施力于其髋部或脚腕，用力将其拉为直臂悬垂。

④练习者在双杠上双臂支撑时，伴练者施力于其髋或脚腕处用力将其拉为臂屈撑。

⑤练习者双臂上举时，伴练者站在其身后抓住其双手，用力将其拉为头后屈臂。

⑥练习者体前屈臂时，伴练者抓住其双手用力将其双臂拉直。

⑦练习者双臂前举或侧举时，练习者施力于其肘或肘部以下部位，用力将其双臂压下。

以上这些练法都是建立在一般力量练习的基础上进行，练习者还可根据上述练习原理，进行各部位、各专项的力量练习。

四、强制性拉伸肌肉练法的生理依据

强制性拉伸肌肉时，练习者的肌肉以越来越受不了拉伸作用仍奋力收缩为背景，需要大脑皮质和脊髓发出补充神经冲动去开发更多、更新的运动单位，把运动单位充分动员起来；另外，在练习中拉伸的是收缩中的肌肉，更容易拉伸肌肉的弹性成分，串联弹性成分中的“腱梭”在经常拉伸

的训练中会发生适应性的兴奋性下降，不易产生抑制肌肉收缩的神经冲动，使神经冲动传导更有效。从而使力量的潜力得到了挖掘，这是一般力量练习难以达到的效果。

五、强制性拉伸肌肉练习法的优点

强制性拉伸肌肉的负荷是以伴练者用力为主，主动性较强，而且不受关节角度变化的影响，比慢放重物对肌肉的刺激更为深刻。

伴练者的拉伸力量可根据练习者用力情况随意调节，当练习者的肌肉受不了拉伸而出现保护性收缩力下降时，还可随即撤除，从而减少肌肉拉伤的可能性。

伴练者也可在练习者的肌肉拉伸到最大限度或一定部位时突然撤力，让练习者作快速的向心收缩，使该练习有两个用力时相。离心收缩时相，由于肌张力可叠加，动员全部运动单位参与工作，使肌肉强烈收缩以对抗强制性拉伸的力；向心收缩时相，肌张力不叠加，维持肌肉快速收缩主要靠快肌运动单位，慢肌的训练效应相对降低，从而加强了快肌的训练，进一步提高力量的训练效果。另外，肌肉的这种离心收缩按向心收缩的工作形成较为符合大多数运动中肌肉的发力形成，易使肌肉发生良好的适应性变化，这是专门的离心练习也不能达到的训练效果。

该练习是建立在一般力量练习的基础上设计的，可根据练习者的需要进行各部位和各专项的力量练习，比传统的离心练习训练范围要大得多。

通过这种双人练习，还能提高练习的兴趣，增进运动员间感情。他们在练习中互相鼓励，调动练习者的主观能动性，使练习者的疲劳阈值提高，能完成更大的负荷，从而增进练习效果。

六、强制性拉伸肌肉练习法的注意事项

强制性的拉伸对练习者的肌肉刺激较强。为防止和减少延迟性疼痛的发生，练习后要及时对练习后的肌肉进行按摩、抖动等。

该练习法与许多专项的肌肉工作形成不同。为防止肌肉发生离心收缩训练效应的局限性，不要将其作唯一的力量练习方法，可作为力量练习的补充。

该练习需要以最大意志力调动更多的运动单位，会消耗相当高的“神经能量”。因此，每组需要以低重复次数（最好不要超过 8 次）；为使练习者得以恢复，以便下组前“振奋精神”，间歇时间也要长些（约 3~5 分钟）。

缘皂。另外，还要考虑总恢复过程。

源动作幅度较大的动作（如抓举、挺举等），会使伴练者难以控制，不宜使用该练习法；有受伤史的运动员不宜使用该练习法；下肢伸肌（如股四头肌）力量会超出伴练者的拉伸力，还是以传统的离心练习为宜（如落地缓冲等）。

缘当伴练者给予的阻力矩远不能超过练习者的动力矩时，可让练习者承担一定量的负重或加大其阻力臂。如：练习者体前屈臂时，伴练者抓住其双手用力将其双臂拉直的练习中，可让练习者手扶一定重量的杠铃（员圆运的源圆缘圆豫）。

源由关节伸拉为屈的练习时，要使练习者的关节微屈，使其肌拉力角增大，易产生绕关节运动的旋转分力，这样，便于伴练者的用力。否则，伴练者用力只能起加固关节的作用，很难达到拉伸伸臂肌的效果。

摇摇适量的体育锻炼能促使身体健康，这已是个没有争议的话题。当我们掌握一系列体育锻炼的生理价值后，并不意味着就能利用它当好体育教师。在对锻炼者施加运动负荷时，还要考虑不同性别和年龄的生理差异，区别对待地选择好合适的体育锻炼，这对提高锻炼效果、减少运动伤病都是非常必要的。

第十五章摇性别、年龄特征与运动

第一节摇儿童少年的解剖生理特点与运动

一、骨骼

骨的成分：儿童的骨骼处在生长发育阶段，软骨成分较多，骨组织内的水分和有机物质（骨胶原）多，无机盐（磷酸钙、碳酸钙）少。骨密质较少，骨富于弹性而坚固不足。由于儿童的骨硬度小，韧性大，具有不易发生骨折，而易于发生弯曲和变形的特点。

骨的成分随年龄增大逐渐发生变化，无机盐增多，水分减少，坚固性增强，韧性减低，直到 14~15 岁骨化完成后，骨不再生长，身高也不再增长，但骨的内部构造仍在变化。下肢骨在 18~20 岁以后骨化迅速。身高的增加主要在于下肢骨的生长，所以，青春期要看下半身的长势。脊柱的椎体到 14~15 岁才完成骨化，所以，青年期要看上半身的长势。

根据儿童少年骨骼的上述特点，在体育教学或运动训练中，应注意下面一些问题：

养成正确的身体姿势

儿童少年的骨承受压力和肌肉拉力的功能比成人差，在长期处于身体姿势不良的影响下，他们的骨易弯屈变形。其中常见的是脊柱的变形。据调查，小学生中脊柱变形者占受检人数的 15% 左右，而脊柱侧凸的又占脊柱变形者的 1/3 左右。因此，体育教师必须教育儿童少年，养成坐、立、走等正确的身体姿势。

构成儿童少年脊柱的椎骨尚未完全骨化，椎骨之间的软骨垫（椎间盘）也未成型，脊柱的四个生理弯屈虽然已初步形成，但其弯曲度不及成人。椎骨完全骨化的时期最晚，要到 18 岁以后，才能逐渐固定下来。因此如果儿童少年在日常生活中长期不注意保持正确的身体姿势，很容易发生脊柱后凸（驼背）或侧凸（脊柱偏歪）等畸形。

读书写字时要坐端正，腰部要挺直，头部不要过于前倾（前倾角不应大于 15°），前胸不要压在桌缘上，两足平放于地面。桌椅之间的高度大约为坐高的三分之一，以两肘能平放在桌面上不负担上体的重量，两肩呈水平为合适，不宜长时间从事坐着处于佝偻状态的工作。站立时，从侧面看耳、肩、股骨大转子应在一条垂线上，此线通过膝关节的前方；从后面看，两肩要平，两侧的肩胛骨要对称，足跟略同肩宽，两手自然下垂，站立时间不宜过长，稍长一点时间可用“稍息”姿势两腿轮换休息。行走时，要抬头挺胸，步子要匀，两臂配合脚步自然前后摆动。提物或背挎包行走时，重量不宜太重，要左右轮换提物。总之，要使儿童少年养成坐、立、走的正确姿势，注意各种姿势的轮换，做到左右结合，动静结合，劳逸结合。

身体锻炼的全面性

有些运动项目的动作是非对称的，肢体的负荷不均匀，例如

乒乓球、羽毛球、网球的握拍手，投掷运动中的投掷臂，跳跃运动中的踏跳腿等，在练习过程中锻炼机会较多，而负荷也较重。有些运动项目，在运动中身体常处于某些比较固定的姿势。如舢板划桨、速度滑冰、自行车运动等。对儿童少年来说，进行这些项目的练习时，特别要加强对弱侧肢体的锻炼；另外，不要过于集中练习那些基本技术，应采用分散的办法，用多种形式，交替进行。否则，由于肌力发展不平衡，或长期保持某种姿势，也易发生脊柱的变形或肢体发育的不均衡，造成缺陷。

适宜的力量练习负荷

儿童少年的椎骨完全骨化的年龄较晚，髌骨是由髌骨、坐骨、耻骨三块骨以软骨连续起来，要到 15~16 岁左右才愈合，股骨还存在骺软骨，承受压力的功能比成人差，维持足弓的肌肉和韧带也较弱。因此对儿童少年进行力量的练习时，如果负重过大，或采用静止性力量练习过多，也容易导致脊柱变形，腿型异常，髌骨的移位和足弓的下降（扁平足）。一般在 14 岁以前，不宜搞负重练习，可采用抗体重的一些练习，如徒手跑、跳等。14~15 岁可增加一些抗阻力（如拉橡皮筋）或哑铃等的力量练习。较大重量的力量练习，应在 15 岁以后进行，并应以动力性练习为主，进行必要的静力性练习时，也要控制时间，做到动静结合。

练习场地的选择

由于儿童少年骨骼的骨化未完成，易变形，脊柱的生理弯曲较成人小，缓冲作用比成人弱，故不宜在坚硬的水泥地、沥青地上反复进行跑、跳等练习。长期在这些场地上练习跑、跳，对足骨、胫骨的骨化点会产生过大而又频繁的刺激，易引起过早骨化或骺软骨的损伤，影响骨的生长发育。同时由于反作用力大，震动也大的特点，要避免从高处往下跳的练习。因此，进行跑、跳练习时，应选择草地和一般的泥沙地进行。练长跑时，也应尽量

不在柏油或水泥公路上进行。

继续预防“骺软骨病”的发生

“骺软骨”的损伤是儿童少年在运动中特有的一种损伤。主要发生在腰椎、膝关节和肘关节。如体操运动，要做许多下腰练习，如果教练员在练习中单纯用力去挤压腰部或上提腰部，过多地用静力性的练习去发展腰部的柔韧性，而不注意积极发展腰背肌肉的力量，则可能引起椎骨骺软骨损伤（图 15-1）。又如篮球、排球等运动，常处于半蹲位发力和活动，半蹲位时，膝关节的韧带松弛，全靠股四头肌和髌骨来稳定膝关节，儿童少年股四头肌力量较弱，稳定膝关节的能力差，加上髌骨比股骨较早完成骨化。在这种情况下，如膝关节反复摇晃旋扭或多在半蹲位突然发力，使髌骨与股肌下端经常发生摩擦撞击，而致股骨下端骺软骨病变，尤其在过硬的场地上用力踏跳等，更为不宜。体育教师安排半蹲位练习，不要过于集中，每次时间不宜过长。对一些陈旧的、不合理的练习方法，如蛙跳、鸭步、并腿负重蹲起等，对儿童少年来说，应尽量减少。平时应采取积极的手段，来发展儿童少年股四头肌的力量，这对预防膝关节损伤有良好的作用。此外，体操运动常有许多上肢支撑和前臂旋前旋后的用力动作，使肘关节的负担很大。过于集中从事这些练习，常易发生肱骨骺软骨的损伤。

在运动中，如发现儿童少年有腰、膝、肘部的疼痛，应引起重视，并及时进行诊断，作出适当的处理。

适当的营养

儿童少年的骨正处在生长发育的旺盛时期，因此对钙、磷的需要增多。膳食中应注意钙、磷的足够供应，特别是钙的供应。从事体操、乒乓球等专项训练的儿童少年，长期在室内活动，特别需要增加钙的供应。还应适当安排一些户外活动，因皮肤下面有一种胆固醇物质在阳光中的紫外线照射下能形成维生素 D，而

维生素 有助于钙的吸收。

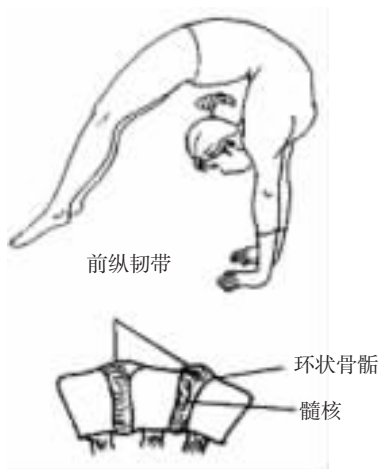


图 猿象 做体操“桥”时可能引起椎骨软骨损伤

二、关节

儿童的关节面软骨相对较厚，关节囊、韧带的伸展性大，关节周围的肌肉细长。所以，关节活动范围大于成人，但牢固性相对较差，在外力作用下较易脱位。因此，在教学与训练时应加以注意。

由于脊柱发育较晚，所以身体姿势长期处于不正常体位情况下，最常见的就脊柱变形，正常生理弯曲受影响。因此，在教学中应注意以下几点：

保持正确的姿势

看书、写字、坐、站、走等动态或静态姿势都应端正，并且要经常注意变换体位，避免一侧肢体或局部用力过多，造成脊柱弯曲，肢体畸形。

练习负荷要适宜

儿童少年的髌骨、耻骨、坐骨之间的连结尚未牢固，一般在 12~15 岁才能完成骨化。因此，少儿阶段进行负荷训练时，要注意负荷均匀，以不影响骨盆的形态发育。

猿顺势发展柔韧性

应充分利用儿童时期关节活动范围大的特点，发展柔韧性。如体操、武术、技巧等项目的练习适合于早期从事，但同时应重视发展关节的坚固性，以防止关节损伤。

三、肌肉

儿童少年的肌肉中水分多，蛋白质、脂肪、无机盐类少，肌肉细嫩，收缩机能较弱，耐力差，易疲劳。随着年龄的增大，有机物增多，水分减少，15~18 岁时显著减少。因此，肌肉重量不断增加，肌力也相应增强。

少儿身体各部肌肉发育不平衡，躯干肌先于四肢肌，屈肌先于伸肌，上肢肌先于下肢肌，大块肌肉先于小块肌肉的发育。18~20 岁以后，肌肉发育的速度加快，力量逐渐增加。25 岁以后，小肌肉群也迅速发育。25~30 岁是躯干力量增长最快的时期。全身整个肌肉力量男子在 25 岁左右，女子在 20 岁左右达到峰值，肌力可保持到 35~40 岁才开始减退。

肌力的发展有一定规律性，当身高增长加速时即生长加速期，肌肉主要向纵向发展，但仍落后于骨骼的增长，所以，肌肉收缩力量和耐力都较差。

生长加速期结束后，身高的增长缓慢，肌肉横向发展较快，这时肌纤维明显增粗，肌力显著增加，女孩在 15~18 岁，男孩在 18~20 岁肌力增长最为明显同时体重增加也明显。

根据儿童少年的解剖生理特点，在体育教学和运动训练中应注意：

1. 儿童少年的肌肉正处在生长发育中，从事体育锻炼或运

动训练,能促进肌肉的生长发育,使肌纤维增粗,肌肉中蛋白质代谢旺盛,肌肉收缩力量、速度以及肌肉的伸展性与肌肉活动的协调性等均可得到提高。在 愿岁以前,儿童的肌肉生长和肌肉力量的增长速度较慢,因此,应以大量的徒手操以及不负重的跑跳练习为主; 愿~ 愿岁,肌肉的生长和肌肉力量的增长速度加快,这一年龄阶段的少年,可采用一些阻力和较轻的负重练习来发展肌肉的力量。 愿~ 愿岁,肌肉和力量增长的速度最快,在练习中,可以增加阻力或负重。这与根据骨骼的生长特点,安排练习的负重情况是一致的。

发展儿童少年肌肉力量的练习,应以动力性力量练习为主,但适宜的静力性的练习,也不必排除。动力性力量练习是在克服阻力(包括负重或克服体重的阻力)的情况下,肌肉的收缩与放松交替进行;静力练习是在抗阻力(包括负重和体重的阻力)的情况下,肌肉作持续性的紧张收缩,两种方法都可发展肌肉的力量。对儿童少年来说,由于肌肉的纤维较细,肌纤维的张力小,加上支配肌肉的神经中枢的兴奋强度和维持高度兴奋的时间比成人差,对持久而紧张的肌肉收缩更易疲劳。因此,对他们最好采用动力性的力量练习。但是据研究,儿童少年在持续紧张用力时,肌肉的血流量比成人多,只要安排适当,做一些静力性练习对发展肌肉力量,也是有益的。

进行静力性力量练习时,负荷不要太重,持续的时间应有所规定,如表 愿缘 员所示。最好采用动静结合的方法,如发展肩部和上臂伸肌力量时,采用握哑铃臂伸直上举维持 缘泽 然后再屈肘上举,反复数次。无论是动力性练习或静力性练习,组数不宜过多,练习中应多安排几次休息,练习完后,注意做好放松活动。

由于儿童少年肌肉的生长发育不均衡,在运动训练中,应注意全面身体训练和发展小肌肉的力量和耐力的训练。例如用

踮足小步跑来发展胫骨后肌、屈趾长肌的力量等。

表 猿缘 儿童少年进行静力性力量练习的持续时间

组别	年龄（岁）	徒手练习（泽	负重练习（泽
儿童组	愿- 猿	缘- 猿	
少年组	猿- 猿	猿- 猿	缘- 愿
少年二组	猿- 猿	猿- 猿	愿- 猿

依据：《儿童少年解剖生理特点与体育运动》

儿童少年神经系统对肌肉运动的调节不够完善，在运动训练中应注意改变儿童少年的协调性，帮助提高对肌肉运动的感觉，培养对运动的节奏感和多做一些使肌肉主动放松的练习。

四、血液循环

儿童血量占体重的百分比略高于成人。新生儿的血量约占体重的 猿缘。

新生儿的红细胞为每立方毫米 缘万个，匀含量为 猿- 猿克 豫（每 猿皂皂血含 猿，以后逐渐减少，源- 缘岁以后逐渐升高，到 猿- 猿岁时红细胞数为每立方毫米 源万个，匀含量为 猿，接近成人水平。匀男子直至 猿- 猿岁达到最高水平，以后逐渐下降，女子则在 猿岁时达到第一次高峰，以后逐渐下降，猿- 猿岁维持于较低水平，猿- 源岁时又逐渐升高达到第二次高峰，但仍低于男子。

新生儿的白细胞总数特别多，平均可达每立方毫米 圆万个，两周后白细胞总数接近常人比成年人稍高。但淋巴细胞的百分比在 员岁以后逐渐减少，到青春期接近成年人水平。

怨- 员岁以前中性粒细胞比例较低，淋巴细胞占百分比相对较高。

儿童少年正处在长身体时期，建造身体的营养物质应多一些。生长加速期更需要增加营养物质，尤其是蛋白质、维生素、

铁和其他矿物盐类，应注意补充，以免影响发育。

少儿的心脏重量和容积均小于成人，但相对值即按体重的比值却大于成人，幼儿的~~心脏重量占体重的 园豫~~心脏重量占体重的 园豫。而成人只占 园豫 ~ 园豫。心脏的重量随年龄逐渐增大，如表 猿 圆所示，到青春期时心脏已达到成人水平。心脏容积的增长也有类似的规律。

表 猿 圆 心脏重量的年龄增长值

年摇龄	重摇量	年摇龄	重摇量
新生儿	园- 园早	怨岁	新生儿的 怨倍
员岁	苑早	青春期	新生儿的 员- 员早倍
缘岁	新生儿的 源倍		

儿童的心脏发育不够完全，神经调节也不够完善，而新陈代谢又比较旺盛，因而，心率较快。随着年龄的增长心率逐渐减慢，~~园岁~~岁左右趋于稳定。

血管在 远- 苑岁以前发育比心脏早，血管壁弹力好，血管口径相对较成人大，外周阻力较小。所以，儿童的血压低，随着年龄的增长而递增。

心输出量：儿童的心脏发育尚差，心肌纤维交织较松，弹性纤维少，心缩力弱心脏泵血力小，每搏和每分钟输出量比成人小，但相对值每公斤体重的心输出量大，年龄越小相对值越大，保证了生长发育过程中物质代谢的需要。这说明儿童的心脏可以胜任较紧张的肌肉活动。

青春发育期后，心脏发育速度增快，血管发育处于落后状态，同时由于性腺、甲状腺等分泌旺盛，引起血压升高，称为青春期高血压。一般多见于身体发育良好，身高增长迅速的青春少年。其特点是收缩压较高，一般不超过 员 园皂汞柱，具有起伏现象，舒张压则在正常范围。据统计，青春期高血压始发年龄为

猿~猿岁，随年龄增长而增多。高峰年龄为 缘~ 远岁，以后逐渐减少。

儿童时期交感神经调节占优势，心肌发育不十分完善，运动时主要靠加快心率来增加心输出量以适应需要。所以，运动时心率加快，而血压变化并不明显。从最大摄氧量的心率来看，猿岁的儿童心率为 猿猿次·皂^猿；源~ 缘岁的少年为 猿圆次·皂^猿；远~ 愿岁的少年为 猿愿次·皂^猿。由此可见，心血管机能对运动的反应，随年龄的增长，脉搏次数增加得少，而血压变化较明显，愿岁已接近成人。

根据儿童少年血液循环系统的解剖生理特点，在体育锻炼和运动训练中应注意以下几点：

合理安排的运动负荷

儿童少年血液和循环系统的机能指标，其绝对值比成人差，但以相对值来说，并不比成人差，有些还比成人强。在正常情况下，儿童少年的血液循环机能与他们的身体发育水平是相适应的。因此，在体育锻炼和运动训练中，他们还是能承受一定的大运动负荷训练的，并且对逐步加大运动负荷有较大的机能潜力。

但是，儿童少年的心肌纤维较细，心肌收缩力量较弱，心容量较小，神经系统对心、血管系统的调节机能还不够完善。因此，在运动负荷的安排方面，应注意适宜与合理，不能看到儿童少年能承担一定的大运动负荷训练，就猛加运动负荷。一般儿童少年对强度较大持续时间不长的运动，如 远皂、 猿皂、 圆皂跑，各种活动性游戏、徒手操、哑铃等力量练习以及短距离游泳、跳跃活动等，都应根据年龄、性别和个人身体发育情况，安排适宜的大运动负荷训练。而对一些长时间紧张的运动，重量过大的力量练习，对身体消耗过大的耐力性练习等，则不宜过多采用。练习的强度大一点，间歇次数应多一些，密度不宜太大，练习中间多休息几次。猿~ 源岁以后，心血管机能逐渐接近成年

人水平，可以承受更大的运动负荷训练，但也应注意循序渐进和区别对待。同年龄的儿童少年，个子高大的，心脏的负担相对较大；性成熟发育迟缓，心脏的发育也较迟缓，在运动负荷方面应注意区别对待。

儿童少年在运动时，较大程度上依赖心跳频率的增加来加大心输出量。有研究曾观察到个别少年运动员在运动中心率每分钟竟达 180 次，心跳频率过快，心舒张期缩短，影响心脏本身的冠状循环，心肌营养不良，长此下去，会使心脏受损。因此对儿童少年的运动负荷安排不当，不但不能促进其身体的生长发育，增强其体质，反而有损于他们的健康。

不宜做过多和过长的“憋气”

许多力量练习如举重，常需要“憋气”。“憋气”时，肺停止于扩张状态，腹肌紧张，胸腔和腹腔内的压力加大，血液回心困难，回心血量减少，心脏输出的血量也减少，对心脏本身的血液供应也会减少。“憋气”完了，又往往有深呼吸，这时胸内压、腹内压突然降低，大量的血涌入心脏，使心脏充盈过度，对心脏也不利。因此，带有“憋气”的运动练习不宜多做，即使“憋气”，时间也不宜过长。

此外，倒立、下桥等这类动作的练习也应予以适当控制。倒立、下桥等动作，头朝下，头部血液回流困难，而心脏处在正常位置时的阻力加大，增加了心脏的负担。同时，在这种情况下，要维持正常的血液循环，神经系统必须对头部、下肢等处的血管口径进行适当的调节。儿童少年心脏收缩力量较弱，神经系统对心血管的调节机能也不够完善。因此，对儿童少年来说，过多过长时间从事这些练习，也欠适宜。在体操训练中，从事这些练习时，在时间上要予以控制。在练习后更应做些放松、整理活动，以便血液循环得以恢复正常。

正确对待“青春期高血压”问题

在性成熟期，~~猿- 猿~~岁左右的青少年，个别人会出现“青春期高血压”。青春期高血压者大多没有头晕、头痛等不良感觉。随着年龄的增长，内分泌腺机能的稳定，神经系统对心血管系统的调节机能完善，血管进一步生长发育，这种现象便会自然消失。对有青春期高血压的人首先要对他们进行解释，消除他们思想上的紧张。其次，主观上无不良感觉的人，可以照常参加体育活动，但运动的强度、密度要适当降低，并控制参加比赛的次数和密度。对有头晕、头痛等不良感觉的人，运动负荷应适当减小，并注意医务监督。总之，对青少年中有“青春期高血压”的人，适当地进行体育锻炼，可能还有助于血压恢复正常。

~~采取~~采取积极的手段，促进血液循环系统的生长发育，提高其机能水平

正确的体育锻炼能促进儿童少年血液循环系统的生长发育，提高其机能水平，这在前面也已谈到。但是，有些体育教师往往偏重于技术水平与运动成绩的提高，而忽略了对儿童少年采取积极的手段来发展他们血液循环系统的机能。如儿童少年适当地进行一些越野跑，~~猿- 猿~~岁~~的~~匀速跑、间歇跑、篮球活动等，对促进他们的血液循环系统的发育将有良好的作用。

五、呼吸系统

儿童少年的胸廓狭小，呼吸肌力较弱，呼吸表浅，所以，肺活量小。但儿童代谢旺盛，对氧的需要相对较多，因而呼吸频率快。随年龄的增大呼吸深度增大，频率逐渐减少而肺活量增大，业余体育学校的学生呼吸次数比同年龄的一般学生为少，而胸围、呼吸差、肺活量均较大。

在~~猿- 猿~~岁和~~猿- 猿~~岁时摄氧量增大最明显，~~猿- 猿~~岁增加较缓慢，最大摄氧量与负氧亏欠能力都较低，女孩又比男孩低，所以儿童少年无氧代谢的能力均较成人为低，不宜进行强度

大的剧烈运动和长距离赛跑。

儿童少年肺通气量小，而按每公斤体重的相对值却较大，儿童少年在运动时主要靠加快呼吸频率来增加肺通气量，而呼吸深度增加得很少。这是因为呼吸肌弱，调节机能不完善的关系。

根据儿童少年呼吸系统的解剖、生理特点，在体育运动中应该注意：

图教育儿童少年注意呼吸的卫生

鼻腔是人体与外界进行气体交换的门户。由于鼻腔内有黏膜，黏膜内血管丰富，黏膜又能分泌黏液，而且鼻腔里还有鼻毛，所以用鼻呼吸，能使吸入的空气起到加温和变湿润的作用，还能阻挡一部分细菌和灰尘的吸入，对空气起到过滤作用。儿童少年的呼吸道比成人狭小，呼吸道的上皮较薄而血管丰富，容易感染引起呼吸道发炎。因此应教育儿童少年，在平时要用鼻呼吸，不要用手指掏鼻腔。室内要注意空气流通，经常用盐水漱口。发生呼吸道感染时，要及时治疗。

运动时，由于需氧量和体内二氧化碳骤增，仅用鼻呼吸就不能满足身体的需要。有人实验，在运动中用口呼吸比用鼻呼吸时的肺通气量大 圆-猿倍，而用口鼻同时呼吸效果最好。所以在运动中可用口鼻同时呼吸，并不会带来什么不良后果。

图注意呼吸与运动的配合

在教学或训练中，不仅要教会儿童少年怎么做动作，而且还应注意教会儿童少年怎样进行呼吸。如什么时候呼气，什么时候吸气，什么时候又进行屏息或憋气，动作与呼吸采取什么样的节奏，以及呼吸形式的变换等。一般来说，肢体伸展的动作，便于吸气，而肢体弯曲的动作，便于呼气；在胸廓肩带需要固定的动作，便于腹式呼吸，而腹肌用力 and 收缩的动作，便于胸式呼吸；爆发用力 and 上下肢体大幅度活动的动作，又必须在呼气中进行或暂时屏息甚至憋气；周期性的运动项目，如跑、游泳、划船等，

呼吸必须有一定的节奏。例如，长跑采取两步一呼，两步一吸，或三步一呼、三步一吸等。人体的呼吸运动是受大脑皮层调节，可以随意调整的。体育教师应根据动作的结构、动作的节奏、用力的情况，教会儿童少年在运动中掌握适宜的呼吸方法，使儿童少年在运动中不会因为掌握不好呼吸而影响动作的完成，加重体内的缺氧，而导致气喘、脸色发白等。有时在武术运动中，在完成一个套路练习或表演后，常见到有些儿童少年面色发白、气喘、冒虚汗，其中原因之一，就是没有掌握好呼吸与动作的配合。

猿在强度较大、时间较长的运动中，要有意识地加深呼吸

人体的内脏器官，从运动前的机能水平提高到运动时的较高水平，所需要的时间比骨骼肌长，即内脏器官的惰性比较大。当进行强度较大，时间长的运动项目如 ~~长跑~~ 长跑时，肌肉在极短的时间内即能发挥出高度的工作能力。而内脏器官的工作能力则落后于肌肉，呼吸和血液循环系统不能满足肌肉对氧的需要，同时又产生大量的二氧化碳，这些酸性代谢产物如不能及时排出，会影响神经系统的机能，使肌肉工作的协调性受到破坏，运动速度下降，同时发生呼吸短促，胸部发闷，脸色苍白，肌肉无力的“极点”现象。因此，要对儿童少年介绍有关“极点”和“第二次呼吸”的生理知识，加强儿童少年在运动中的意志锻炼，使他们在运动中主动地有意识地加深呼吸。

猿突出以强度为主的训练，持续时间不宜过长

儿童少年血液循环和呼吸机能比成人差，在剧烈运动中最大肺通气量、摄氧量、最大摄氧量和运动后过量耗氧量均比成年人少，因此，他们对强度大而持续时间长的运动，适应能力较成人低。在运动训练中，对儿童少年在强度方面不能要求过高过急，突出以强度为主的训练，持续时间不能过长，练习时就应多安排几次休息。

继续采取积极的手段,提高呼吸机能

儿童少年的呼吸系统正处在生长发育中,特别是在 12~15 岁的阶段,性成熟期开始,呼吸器官的发育加速,应采取积极的手段,促进儿童少年呼吸系统的生长发育,提高呼吸器官的机能。据研究,游泳、划船、长跑、篮球、武术等运动项目,能有效地增大肺活量,提高呼吸机能。因此,对儿童少年的训练,除专项练习外,还应让他们参加多种多样的活动。此外,让儿童少年平时经常做深呼吸练习。因为深呼吸时,吸气和呼气都要用力,此时除平时参加呼吸运动的呼吸肌活动外,一些辅助呼吸肌也积极参与活动,胸腔扩大和缩小的范围也增大,这样,便能增强呼吸系统的机能。同时,由于两肺的一张一缩,对于两肺之间的心脏,也能起到良好的挤压作用,有利于静脉血回心。膈肌的运动幅度也扩大,对胃肠道起到按摩作用,可促进消化和吸收。深呼吸练习可安排在早上或课间,选择空气新鲜的地方进行。

六、神经系统

神经系统是发育最早最快的器官。新生儿脑重约 350g,以后迅速增长,2 岁已接近成人水平,如表 15-1 所示。脑发育在胎儿期出生后 1~3 岁最为重要,随着脑重量增加,脑细胞数量也增多,一年后可达 150~200 亿个,大脑随年龄的增长不断地发育,神经细胞的数量有所增加,体积也有所增大,突起增多、变大并向皮质各层深入。儿童初期皮质下神经核绝对重量约为成人的 1/3~1/2,皮质的运动区的神经核仅为成人重量的 1/4~1/3,至 2 岁时神经细胞的分化已基本完成,大脑额叶迅速生长,使儿童动作的精确性和协调性得到发展,以后神经细胞突起的分支越来越多,联络纤维大大增加,形成许多新的神经通路,脑的功能不断完善趋于复杂化。

表 猿缘 猿猿儿童脑重增长（克）

年猿龄	脑猿重	年猿龄	脑猿重
新生儿	猿猿	怨岁	猿猿
远岁	猿猿	猿岁	猿猿
苑~愿岁	猿猿	圆岁	猿猿

摇摇依据：体育学院通用教材《运动生理学》，猿猿年

新生儿的小脑发育很差，造岁时增大最快，猿岁时小脑的发育基本上达到成人水平，能维持身体的平衡和动作的准确性，脊髓的发育比脑缓慢，不过初生时神经联系已经比较完全，自主性神经系统的发育在出生一年后基本完成。

随着神经系统结构的发育，机能也逐渐完善起来，并表现出在不同发育阶段各有其机能上的特点。例如，初生儿脊髓反射的神经通路已发育完全，婴儿期即可以形成简单的暂时联系，猿~远岁大脑皮层各区域之间增加了暂时联系的可能性，分化机能大大提高，远岁时条件反射的形成已比较稳定和巩固，形成动作技能的能力更加提高。

但儿童神经活动过程不稳定，抑制过程占优势，兴奋和抑制过程在皮质容易扩散，神经活动的强度和集中都较弱，表现为活泼好动、注意力不易集中、做动作时不协调、不准确，易出现多余动作，建立条件反射快，消退快，重新恢复也快。

年龄越小，皮质抑制过程弱越而不完善，分化能力也就越差，愿岁以前精确分化能力很差，错误动作多。愿岁以后皮质细胞的分化能力与成人无大区别。猿岁时皮质抑制调节机制达到一定程度，分析综合能力明显提高，能较快地建立各种条件反射，但由于分化能力尚不完善，又受到小肌肉群发育较晚的影响，所以，掌握复杂精细的动作较困难。猿源~猿远岁时，反应潜伏期缩短，分化能力提高。少女分化抑制发展较早，能够掌握复杂的高难动作，在体操、花样滑冰和技巧项目中尤为突出。

大脑皮质的神经细胞工作能力低，易疲劳，但神经过程的灵活性高。神经细胞的物质代谢旺盛，合成作用迅速，所以，疲劳消除较快。儿童在进行运动时各种中枢和各器官的机能都较容易动员。

体育教学与训练时应注意：

①体育课内容要生动活泼多样化，可穿插游戏和竞赛，避免单调。要注意安排短暂休息，使学生情绪饱满，精力旺盛，不易疲劳。

②在教学方法方面多采用直观形象教学，如示范动作、图表、模型等；多采用简单易懂和形象生动的语言或口诀等形式的讲解。年龄越小直观教学法作用越重要。随着年龄的增长，抽象思维的能力不断提高，应加强第二信号系统的活动，培养独立思考能力，加强对体育锻炼和运动技术的理性认识。

③儿童少年时期正是世界观形成时期，要加强意志品质的培养和组织纪律的思想教育。

④青春期神经系统受内分泌腺活动的影响，会使稳定性暂时下降，儿童少年表现出动作不协调，少女更为明显。

第二节 摇性别的生理学差异与运动能力

一、生长和成熟的性别差异

无论男女，生长速率都要经过四个主要阶段的变化：

①出生至婴儿期的加速生长阶段；

②儿童期生长速率的平稳阶段；

③青春期的加速生长阶段；

④青春期后生长速率平稳的阶段。

女孩比男孩发育早。青春期加速生长阶段女孩从 12 岁开始，

男孩从 15 岁开始。但是，男孩身高逐渐赶上并最后超过女孩。在整个生长过程中男孩的肌肉体积略大于女孩。青春期男孩的肌肉发育很快，而女孩则慢得多。肌肉体积上的性别差异是雄性激素的同化作用引起的。例如青春期前男孩和女孩的血液睾酮水平相同，约为 $1.0 \sim 1.5 \text{ ng/ml}$ 。在青春期，男孩的睾酮达到了成年人的水平，约为 $10 \sim 15 \text{ ng/ml}$ ，而女孩则还停留在青春期前的水平上。女性的肾上腺皮质和卵巢只分泌少量的雄性激素。

男孩和女孩的体型特点在青春期前相似。在 15 岁左右以前，男孩、女孩的腿长、上臂围、体重、坐高和体重指数（即身高除以体重的立方根）相近。在整个生长过程中，男孩的股骨、肱骨两侧上髁的直径、臂长、胸围和肩宽等指标始终大于女孩。相对身高而言，女孩的髌部始终大于男孩。

形态特点在青春期变化显著。男孩肩宽、女孩髌部大。女子由于肩带窄小，限制了奔跑速度。但是髌部大而重心低，有利于女子从事平衡运动。

二、身体成分的性别差异

身体成分受青春期激素分泌变化的影响，女孩脂肪增长较快，男孩去脂肪组织增长较快。青春期身体成分的变化是脑垂体的促性腺激素分泌增多引起的。这种激素有提高女孩雌性激素水平和男孩雄性激素水平的作用。雄性激素倾向于使去脂组织增多，抑制身体脂肪的增多。这些垂体的变化最终引起两性在工作能力和身体机能上的差别。

与成年女子相比，成年男子的脂肪含量较少，肌肉含量较多。脂肪分布的性别差异是由一系列自然的、社会的因素综合影响造成的。喜爱运动的妇女体脂比例往往小于一般妇女。

身体成分的差异影响女子的运动。在那些必须对抗重力使身体腾空或移动的运动项目中妇女处于明显的劣势，如跑、爬山、

跳之类的运动时即如此。女子体内脂肪多也不利于女子在运动中散热。

女子参加游泳运动，脂肪含量高会给女子增加浮力。男、女在游泳成绩上差别比其他绝大多数项目少。从事耐力训练的女子体脂含量可降至极低的水平。文献中有优秀女子马拉松运动员体脂少于 15% 的报道。从事代谢活动过多的女子，体脂低于 15% 象是一般现象。

三、氧运输系统的性别差异

男子最大摄氧量高于女子约 20%。然而，训练可以拉平甚至逆转这一差距，因此有人甚至认为女子的耐力能力会超过某些男子。造成最大摄氧量性别差异的因素有心输出量、血量，携氧血液和肌肉的用氧能力，如图 15-5 所示。

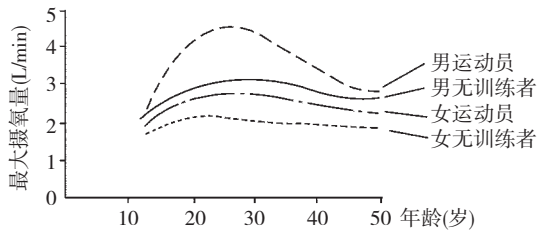


图 15-5 不同年龄男女的最大摄氧量

男子的心脏体积较大。心脏体积大能产生较大心脏收缩力，容积大则使舒张期的容量较大。这些有利条件使男子的最大每搏输出量和最大心输出量都大于女子。

女子在安静时，以及次最大强度运动时的心率都较高。男子和女子在完成某一需氧量相同的负荷时，女子的心率高于男子，这样才能补偿较低的泵血机能。训练水平相似的男女运动员的最大心率几乎没有差异。男子由于最大心输出量较大，在进行最大

强度的运动时往往收缩压较高。女子心率上升较慢，因为女子的心脏必须加快活动才能达到一定水平的心输出量。

男子肺通气量较大，主要是因为有较大体表面积。男、女最大通气量在青春期前相似，从青春期开始出现差异（图 猿缘 猿）。无论安静时还是在运动中肺泡气的扩散能力和血氧饱和度并无性别差异。

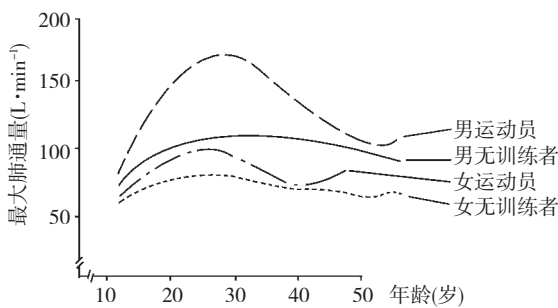


图 猿缘 猿 男女最大通气量比较

男子血红蛋白的含量较高，有较强的携氧能力。男子血红蛋白平均为 猿缘 猿（每 猿园 猿 血含 猿 猿），女子平均 猿 猿。这种差别的原因在于雄性激素含量不同及月经周期的失血。

四、骨骼的性别差异

女子骨骼较男子轻约 猿 猿，抗压抗弯能力较差，但弹韧性好。女子脊柱的椎间软骨较厚，柔韧性和弹性较好。所以，女子柔韧性比男子好，做下桥和劈叉等动作比男子容易。

五、肌肉系统的性别差异

由于性激素的原因，男子肌肉占体重的 猿 猿 ~ 猿 猿，女子占 猿 猿 ~ 猿 猿。可见女子肌肉重量轻肌力弱。有资料表明，女子上体伸肌力量是男子的三分之二，腰部肌力也是男子的三分之

二，下肢爆发力是男子的四分之三，如图 猿缘 源所示。训练程度相同的男、女受试者，其肌糖原、血乳酸水平、脂肪代谢能力和氧化脂肪的能力对训练的反应不如男子快。

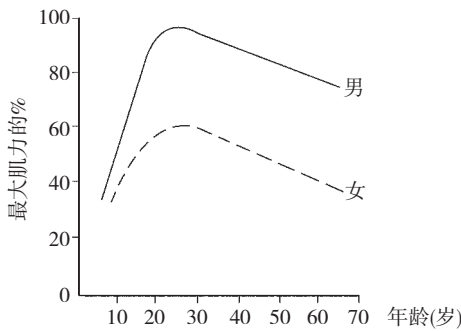


图 猿缘 源不同年龄男女肌力的差异
(以 猿园- 猿园岁最大随意肌的 猿表示)

六、运动能力的性别差异

男子在耐力和短时间、大强度运动两方面的能力均比女子强 猿园猿左右。在一些力量性的项目中，如举重、短跑等，性别之间的能力差异更大。但在游泳运动中由于女子浮力较大等原因，男女之间的成绩差别较小，为 苑猿 ~ 猿猿猿。

男孩在儿童期力量就大于女孩，在青春期差距逐渐拉大。体重对力量的性别差异有一定影响，但不是全部原因。即使在男女体重和肌肉体积均相似的儿童期，男孩单位体积肌肉产生的张力也大于女孩。成年后，男子大多数肌群的力量比女子约大 猿猿猿。

女子的肌纤维在化学组织的分布上都与男子相同，但是女子肌纤维的横截面积都比男子小。

男子雄性激素水平较高与两性之间的力量差异有关。雄性激素是一种较强的促合成代谢激素，对男子在青春期快速生长阶段

和运动训练中产生的肌肉肥大起主要作用，由于女子雄性激素水平低，因此力量训练对女子肌肉体积的影响就小。女子的力量可以大大提高，但却练不出发达的肌肉。女子力量的提高主要通过改善动员运动单位的能力，而使肌肉的收缩结构发生改变的作用是第二位的。

七、运动对女子月经周期的影响

大多数运动项目对女子的月经周期没有影响。只有高强度、长时间的剧烈运动才易引起女运动员的月经失调，甚至闭经。根据我国学者的调查，运动员中闭经发生率为 15%。运动性闭经的产生与运动负荷、身体成分的变化、应激、饮食改变等多种因素有关。其中激素的变化起着重要作用。

研究表明，月经周期的正常与否与下丘脑—腺垂体—性腺轴的活动有关。下丘脑分泌促性腺激素释放激素，后者作用于腺垂体，使腺垂体释放促性腺激素作用于性腺，使性腺分泌雌激素孕酮呈周期性变化，最终影响到月经周期。只要这条轴的任何一个环节出现障碍，均会影响到正常的月经周期。

现已证明，运动性闭经的产生与长时间、大强度运动后的雌性激素降低有关，并且也与雌性激素在一个月经周期中的变化规律的改变有关。一方面与下丘脑的功能改变有关，另外也可能与运动时激素代谢的清除率加快、性腺本身分泌能力下降有一定关系。

从事运动的妇女出现痛经比闭经或月经失调较多见。痛经常伴有易激动、腰痛、下腹痉挛、头痛、恶心、呕吐等症状。由于痛经影响精神状态，因此很可能对心理要求高的运动项目产生不良的影响。

月经期是正常生理现象中的一个特殊的反应，有轻度不舒服的感觉，下腹部发胀、腰酸、乳房发胀，属于正常反应。有人会

出现全身性反应，如食欲不好、疲倦、嗜睡、情绪激动或感到头痛等。有人容易感冒、面部痤疮，也有人出现腹泻症状。以上这些反应都属于正常现象。

在正常情况下，月经期参加适当的体育活动是有益无害的。参加体育活动能改善人体的机能状态，促进血液循环，改善盆腔内生殖器官的血液供应，又由于运动时腹肌、盆底肌收缩与舒张交替进行，对子宫起到一定的按摩作用，这些都有利于经血的排出。调查表明从事一些体操运动，对月经失调的妇女能起到一定的治疗作用。所以只要不是严重的经痛、经血过量或有严重的妇科疾病，就不必过于限制体育活动的参与。

一般人在经期运动时负荷量不宜过大，负荷强度也不宜过强，要循序渐进，逐渐提高难度、强度使之适应，适应的能力个体差异较大。

经期不宜安排激烈运动。如跳跃、速度和腹压力加大的练习。因生殖器官充血绵软，韧带松弛，易使子宫位置改变和经血过多，因此，经期体育课的训练要安排合适的内容。

关于月经期运动对经血量的影响结果表明，有的人月经期不运动时的月经量变化不大，多数人经期运动时月经量增多，少数人月经量减少。有人发现，训练水平高、年限时间长的运动员，经期参加训练的人多，而月经周期不正常的人反而较少。也有个别别人经期从事训练出现月经失调、经血量过多、痛经、闭经、月经周期紊乱等现象。

第三节 摇衰老与运动

一、概述

随着时代发展和科技的进步，人类的物质文化生活水平不断

提高,使人的平均寿命明显延长。我国老龄化日趋明显,研究老年人的健康,重视衰老过程的体育锻炼已经成为重要的研究课题。

一、日历年龄与生物年龄

日历年龄是以每个人从出生之日起,以年月日为单位进行计算的年龄。通常所指的年龄是指每个人的生命已经存在的日历时间。一旦人体生命体征消失之时,该个体生命活动所覆盖的时间段,即为该个体寿命,它是一个不可抗拒的客观规律。在目前正常的生存环境条件下,人类的寿命介于几十年到一百年之间。但随着科技的进步和生存条件的改善,人体的寿命将得到一定程度的延长。

生物年龄是以日历年龄为参照,以每个人在生长、发育、成熟与衰老等生命活动的不同阶段所表现出来的相对独立的生物学特征为依据而划分的年龄。生物年龄就是指每个人当前所展现出来的,代表一定日历年龄特征的群体平均水平的实际生物学发展阶段和程度。通常用相对于日历年龄的“岁”来表示。如某少年的日历年龄为 15 岁,但其骨龄发育的生物年龄为 18 岁,即说明该少年的骨龄发育已经具备了日历年龄为 18 岁的发育程度。人类可以通过自然的和人为的方法与手段,在一定程度上进行调整,改变个体的生物年龄。

生物年龄还可以再分生理年龄、解剖年龄和心理年龄等。生理年龄是以机体的生理机能为评定标准的计算年龄方法,解剖年龄是以机体结构成分和发育程度为评定标准的计算年龄方法,而心理年龄是以人的心理活动特征为评定标准的计算年龄方法。

二、衰老的概念及老年人划分标准

从老年医学角度讲,衰老是指人体随着年龄增长,形态结构和生理功能出现一系列退行性变化。如生理调控机制变差,反应变慢,抵抗疾病的能力变弱,工作能力下降,工作后恢复时间延

长，身体结构的弹性变差。

人类的衰老变化是循序渐进的，它受先天遗传因素和后天环境等多方面的影响。因此，每个老年人的个体差异很大，机体不同的器官其衰老的速度也不同。一个人的年龄或衰老程度主要受实际年龄、生理年龄和心理年龄等多方面的影响。实际年龄是一种不以人类意志为转移的客观规律，年复一年的增加；生理年龄和心理年龄会受到人体组织结构、生理功能和心理状态等因素的影响。因此，不能划定一个年龄作为所有衰老的起点。一般来讲，~~70~~岁以上称为老年人。世界卫生组织（~~宰~~韵 对老年人的划分提出新的标准（表 ~~员~~缘 源。

表 ~~员~~缘 源世界卫生组织提出的老年人的划分标准

年龄（岁）	称摇呼
源 以下	青年人
源 — 缘	中年人
远 — 苑	年轻的老年人
苑 以上	老年人
愿 以上	长寿老年人

二、衰老过程和运动的影响

体育锻炼无法抗拒衰老的过程，它只能使人体以较高的水平工作。比较受过训练和坐着工作的人表明，他们的工作能力随着年龄的增长而下降的情况是相似的。当然，受过训练的人在不同年龄的工作能力都能达到较高水平。

~~圆~~心血管功能

从 ~~圆~~—~~远~~岁，最大摄氧量下降 ~~猿~~缘。这是因为最大心率、每搏输出量、动静脉氧差都下降。因此，衰老使氧运输和氧摄取的能力都下降。

进行一次最大强度运动时，在各种定量工作下心率都偏高。

此外，心血管功能的渐变，对老年人来说更大些。心血管功能的渐变是指在工作负荷不变的情况下，心率、深部体温和肺通气量等生理指标增大的倾向。在进行次最大和最大强度运动后恢复的速率也变慢。衰老对机能能力的影响总结如表 猿缘 缘所示。

表 猿缘 缘男子年龄增长时机能能力和身体成分的变化

指 标	年 龄	
	圆园	远园
最大摄氧量 (皂蕴·噪皂 ⁻¹ ·皂皂 ⁻¹)	猿怨	圆怨
最大心率 (次·皂皂 ⁻¹)	员源	员圆
安静时心率 (次·皂皂 ⁻¹)	远猿	远圆
最大每搏输出量 (皂蕴)	员缘	员圆
最大动-静脉氧差 (皂蕴·皂皂 ⁻¹)	员圆	员圆
最大心输出量 (蕴·皂皂 ⁻¹)	圆	员
安静时收缩压 (皂皂皂)	员员	员员
安静时舒张压 (皂皂皂)	愿	愿
肺总容量 (蕴)	远苑	远缘
潮气量 (蕴)	缘员	缘源
肺余气量 (蕴)	员缘	圆园
脂肪百分比	圆员	圆缘

摇摇依据：月燥燥

衰老损害心脏的泵血能力。收缩力量逐渐下降，部分原因是酶活性下降，心壁变硬，使心室充盈迟缓。这种迟缓使最大心率下降，并可能使每搏量下降。最大心率和每搏输出量受影响会进一步使心输出量减少。

发生动静脉氧差变小的现象，是因为肌纤维与毛细血管比率、总血红蛋白含量和肌肉的呼吸能力下降。肌肉中线粒体含量减少，同时伴有几种氧化酶含量减少。

衰老使控制血流量的自主神经反射能力也减弱。安静时，皮肤的血液循环一般较差，使得身体的外周部分发冷不适。进行体

力活动时，流经皮肤的血流比例失调，可进一步损害摄氧能力。此外，老年人更容易出现直立不耐。当从平卧变为直立姿势时，有时很难保持血压正常。耐力锻炼可使老人的有氧能力提高。

耐力锻炼可使定量工作时心率下降、安静时和运动时收缩压下降及运动后心率恢复加快，心电图异常（如杂-栽段下降）的情况也有所改进。

肺功能

正常的肺有很大的能力储备，可满足在最大运动时对通气量的需要。这种能力储备在 猿园- 猿园岁之间开始逐渐退化，在此之后退化加速。如果吸烟或者长期生活在空气污染严重的环境中，这一过程可能加快。

随着衰老在呼吸系统中发生的三个最重要的变化是：肺泡体积逐渐增大、肺的弹性支持结构蜕变和呼吸肌虚弱。这些变化会影响肺的通气 and 扩散能力，这两者都会影响氧和二氧化碳的交换。

肺弹性下降和呼吸肌无力在运动中有明显的影响。这两种变化使呼气更为困难，并使呼吸做功（耗氧）增加，弹性回缩力下降。由于气流受阻，在运动强度增加时肺通气量的增加只好依靠增加呼吸频率，而不是潮气量。

肺功能的退化与心血管系统中的变化相似。因此，只要肺功能不因疾病而加速下降，老年人在运动中的肺通气量可能不是耐力素质的限制因素，心输出量可能是最重要的限制因素。

锻炼将使最大通气量增加，但增长的程度与心输出量相平行。虽然呼吸通过运动可以增强，但大多数衰老变化是不可逆的。然而，由于肺有很大的能力储备，这些变化还是可以忍受的。

骨质疏松

骨质疏松是老年人的一个严重问题，特别是在妇女中，女子

约从 猿园岁开始骨中矿物质逐渐丢失,而男子约从 缘园岁才开始。骨质疏松引起骨密度和抗张强度下降。骨质疏松使骨折的危险性增大,这使短期死亡率大大提高。一项研究发现,股骨骨折的老年妇女在骨折后一年内的死亡率是 缘豫。

虽然老人骨质疏松的原因尚不完全清楚,但看来与体力活动少、饮食、骨骼的血流量和内分泌功能等的综合影响有关。这些因素可能引起负钙平衡,不断地消耗骨骼中这种重要的矿物质。

运动被证明对于防止和治疗骨质疏松是很重要的。骨骼,如同其他组织,会对施于它的刺激产生适应。受到应激时骨骼变得粗壮,没有应激时则变弱。即使是健康状况极好的宇航员,在失去重力应激的情况下骨骼也有某种程度的骨质疏松。研究指出,运动可使骨中的矿物质含量增加,即使是年过八旬的老人也如此。

灞关节

随着年龄的增长,关节的稳定性和灵活性逐渐变差。衰老常伴有胶原纤维降解,滑膜纤维化,关节面退化和滑液黏滞性减小。关节僵硬、柔韧性变差在老人中是很常见的。事实上,有些研究者认为骨关节炎是衰老过程的一个自然后果。

很难将衰老积累的磨损从消耗中区别开来。关节软骨损伤会产生疤痕组织,特征是纤维成分堆积,使结缔组织更为僵硬,对刺激的反应减小。这使滞后有碎屑的关节密度变厚,影响关节的活动范围。老人的骨关节炎主要发生在活动范围受机械刺激最大的部位。

缘肌肉

在衰老过程中肌肉发生显著的退行性变化。其特征是肌纤维的体积和数量减小,肌肉的呼吸能力下降,结缔组织和脂肪增多。这些变化给人带来严重的后果,灵活性受影响,软组织疼痛更为常见,工作能力下降。衰老使等长性和动力性力量以及动作

速度都下降。

每个运动单位中的肌纤维有减少的现象，使动员运动单位时产生的收缩力量下降。另外，运动单位的性质也改变：快肌纤维有选择性地减少，使力量和爆发力减小。然而，老年耐力项目运动员有较高百分比的慢肌纤维，反映出耐力性运动的代谢需要。

肌肉生化功能下降的特点是琥珀酸脱氢酶、丙酮酸脱氢酶、苹果酸脱氢酶及细胞色素氧化酶均减少。年纪很大的时候，存在生成不完整或无活性酶的现象。一些研究者还发现线粒体体积变小。所有这些变化都影响 羧酸的生成，因而影响身体工作能力。

肌肉收缩的有关机制也受到损害，使力量和爆发力下降。衰老的肌肉兴奋性低并有较长的不应期。因此，要使肌肉收缩就得给予更大的刺激，肌肉在能接受下一个刺激之前所需要的时间也更长。肌凝蛋白 羧酶的活性、羧和 悦的含量也下降，特别是在快肌中，这将进一步影响肌肉功能。

老人力量增加的基础与年轻人不同，年轻人增加力量主要靠肌肉肥大，而老人（可能还包括年轻妇女）是靠增强神经刺激。因此，年轻人是提高肌纤维的收缩能力，而老人则是依赖运动单位动员的增强。老年男子肌纤维肥大的能力下降可能与其雄性激素减少有关。

运动身体成分和身高

随着年龄的增长，身体成分和身高有显著的变化。体重从 圆多岁开始持续增长，直到 缘岁到 远岁才开始降低，身体逐渐变矮，体重增加伴有体脂增加和去脂体重下降。男子体脂在 员岁时平均为 员缘，到 远多岁增加到 圆缘左右；女子从 员岁的 圆缘增加到 远岁的 猿缘。这些数值可能有很大差异，受过训练的人倾向于数值较小。

衰老过程中脂肪的分布有改变的趋势。全身体脂肪中大部分倾向于堆积在身体内部，而不是在皮下。因此，如果用皮褶法测

定身体成分，必须采用专门用于老人的修正公式。

注意体脂随年龄而增多的现象是因为这可能与疾病和过早死亡有关。运动对老人身体成分的改变是极其重要的。新陈代谢随年龄增长而变慢，为保持身体成分正常就必须采用低热量的饮食，但这种饮食常造成必需的维生素和无机盐减少。有规律地进行运动可使老人消耗更多的食物和热量，因而保证他们营养方面的需求。身高随年龄的增长而降低，这是因脊柱后凸或称驼背，椎间盘压缩和椎骨退化等造成的。一项横向研究表明，从 15 岁至 70 岁身高下降了 25%。当然，这可能还反映了现代人身高增加的趋势。但是身高随年龄而下降的现象是有大量记载的。

神经系统

衰老过程发生许多神经生理方面的变化。同样，很难把衰老引起的变化与疾病引起的变化区分出来。主要的变化包括视敏度下降、听力下降、短期记忆减弱，同时处理几种信息的反应时变慢等。

体育锻炼对神经功能的退行性变化看来没什么作用。研究表明，身体非常健康的老年耐力性项目运动员的神经生物学指标与坐着工作的人没有区别。他们认为，耐力训练对老年人的作用主要局限于与身体工作能力有明显关系的机能中。换句话说，运动训练将使老人的运动成绩提高，但是并不能影响衰老过程本身。

三、老年人体育锻炼的一般原则

循序渐进原则

开始锻炼时的负荷量和强度要小，以后随身体适应能力提高而逐渐加大，老年人最适合的运动强度一般用最高心率的 50% 来表示，最高心率随年龄增大而减少。也有人提出老年人慢跑时心率应是 170 减年龄或比安静时心率增加 30% ~ 40% 为宜。如果采用慢走，开始时的走速要慢以每分钟 70 ~ 80 步、每步 40 ~

或每小时 1000 步，以后逐渐增加步数和速度，最高可到每分钟 150 步，或每小时 1500 步。在此基础上转入慢跑或走跑交替。开始跑速要慢，距离要短，适应 1 周后，再逐渐增加运动负荷和锻炼时间。

经常性原则

由于老年人心血管系统适应能力较差，突然剧烈的运动容易引起心血管意外。只有经常坚持运动，才能收到应有的效果。一旦间断，心肺功能、体力和工作能力即随之下降。

个别对待原则

要根据老年人的年龄、性别和体力特点，健康状况及以往运动史等来决定最适宜的运动项目，并制定合理的锻炼计划。老年人适宜进行强度不大的活动，如长跑、快走、游泳、骑自行车、气功、太极拳等，不宜进行速度性运动。运动负荷要适中，应根据个人具体情况而定。60 岁以下的人每周至少三次，每次 30 分钟，运动强度相当于最高心率的 75% 或最大摄氧量的 75% 以上。在锻炼中如果感到心胸舒畅、精神饱满、有轻度疲劳但无气喘、无心悸现象；锻炼后食欲增加、睡眠改善、晨脉稳定、血压正常、体重正常等情况，都是良好反映。如果锻炼后有头痛、恶心、胸部不适、食欲下降、睡眠不好、晨脉加快、疲劳不能消失、体重下降等征象表示运动负荷过大需要调整或暂停活动。

四、老年人体育卫生

锻炼前必须经过严格的体格检查，了解健康状况，以便合理选择运动项目和确定运动处方，尤其要进行心血管系统的功能检查，60 岁以上的人要有近期体检证明，特别是安静时和负荷后的心电图应无异常。定量负荷后每分钟心率的标准是 60~70 岁为 140 次，70~79 岁为 135 次，80~89 岁为 130 次，90~99 岁为 125 次，100 岁以上为 120 次。

④加强锻炼的医学监督工作（包括自我监督），防止过劳或意外损伤，如进行慢跑锻炼不能跑得太快，否则踝关节易扭伤，有高血压病的人还容易发生事故，并且有可能身体缺氧，诱发心脏病。要注意跑的环境卫生，跑鞋要轻软合脚等。锻炼中要有间歇，可以走跑结合。跑中如发现有胸痛、胸闷、轻度头晕、恶心、甚至呼吸困难等，应立即停止活动。冬季锻炼要注意身体保暖，防止感冒。

⑤锻炼期间要遵循正常的生活制度如保证充足的睡眠，夏季最好在早晨锻炼。跑后勿大量饮水。饭后至少间隔 员~ 圆澡进行锻炼等。

⑥注意锻炼期间的饮食和营养。饮食应以易消化、含充足的蛋白质和维生素、低脂肪为主。可多吃瘦肉、黄豆制品、鱼类以及蔬菜和水果。还应多吃花生、牛肉、包心菜、芝麻油等富含维生素 耘的食物。要控制热量、糖和盐的摄入量。

⑦老年人在锻炼期间应禁烟，因为吸烟能诱发心脏病，并且使肺癌发生率增加。健康老人应不饮酒或少饮酒，过量饮酒可使肝脏中毒。故有冠心病、胃溃疡、肝炎、高血压病者更不应饮酒。

思考题

①儿童少年运动器官有何特点？为什么儿童少年不宜过多进行大强度的力量训练？

②女子生理解剖特点与男子有何差异？她们的运动能力与男子有何不同？

③女性运动员月经期进行运动训练应注意什么？

④衰老过程使人体机能下降的主要表现是什么？

⑤试述老年人健身锻炼的原则。

⑥老年人体育锻炼应注意的事项。

摇摇假如把人体比做一架精密无比的机械时钟，那么心脏就是这架钟表的发条，人体各器官犹如大小相互牵连在一起的齿轮。在钟摆即大脑的控制调节下，通过各自的工作，围绕着一个共同目标——使生命的时钟走得更加精确持久。

生命的发条如同钟表的发条一样，敷衍了事地拧它两三圈并不解决问题，上得过紧又会把发条绷断，体育教学和训练如不遵循生理规律，瞎练一通或妄想一口吃个胖子，往往会适得其反。

第十六章摇体育教学训练原则和方法的生理学分析

摇摇生物机体能对外界刺激产生适应，人类也不例外。体育教学和运动训练作为人类一种能动地改造客观世界的活动，其生物学本质是有目的地通过多次重复的身体练习给人体器官系统一定的生理负荷刺激，使人体在生理功能、生物化学和形态结构等方面产生一系列适应性变化，从而提高运动能力。在这一系列积极适应的过程中，刺激的性质、强度、时间、数量等因素与适应的效果密切相关。因而体育教学与训练应遵循符合生理规律的原则，才能达到事半功倍的效果。

第一节摇教学训练原则的生理学分析

体育教学与运动训练过程中，采取什么样的练习主要取决于训练课的目的任务。为了提高体育课与训练质量，身体训练必须

科学化，遵循一定教学训练原则。

一、用进废退原则

阿训练性原则

可训练性原则是指人体形体结构、生理机能、运动素质等方面，可以通过体育锻炼来获取某些积极性的适应性改变。表现为各器官功能明显增强，使体内代谢过程产生积极的适应。

人体各器官系统功能可通过体育锻炼得到适应性的提高，并不意味着人体的生理功能不受遗传因素的制约。研究表明，人体有氧供能系统及乳酸供能系统的能力受遗传因素的影响很大。遗传因素与后天可训练性因素的关系是，先天遗传因素规定了人体生理功能发展的可能性范围，而后天训练却是可以充分发掘人体全部遗传潜力，使各器官生理功能达到遗传能力的上限，同时根据运动员的遗传特征选择适合各自特点的项目及训练方法，使训练和运动员的遗传特征吻合，人体各器官功能最大限度地获得提高。

阿逆性原则

锻炼可使体质增强的生理本质是积极的适应性过程，当锻炼中止后，由于应激过程的中止而使已经获得的适应会逐步消失。通过锻炼提高与增强的生理功能是可逆的，可能因为中断锻炼后又下降。对一些 ~~源原~~ 岁的中老年人进行纵向观察研究发现：他们年轻时都是越野跑运动员，最大摄氧量没有明显差别。一部分人在进入中老年后仍坚持运动和比赛，另一部分人则几乎中止了运动。通过比较发现，中止运动者最大摄氧量、心容量等均明显下降。可见因锻炼而获得的增强，会因中止锻炼而可逆性降低。

有研究表明，可逆性不仅在长时期中止训练后有所表现，在短期停训后也会有明显下降，如运动员卧床休息 ~~源原~~ 天，最大摄

氧量、最大心输出量、心容积等指标明显降低（表 16-1），而在长期停训后，这一可逆性更为明显。对于运动员在训练期获得的各种运动素质的适应来看，停训后消退最快的是柔韧素质和肌肉耐力。对于这类素质要求停训时间不要太长。

肌肉也会因为固定不用而发生萎缩及肌肉内部的一系列变化。研究发现，肌肉经 4 周锻炼后力量明显增长，中止锻炼 4 周后，所获得的力量增长完全消退。

表 16-1 运动员卧床休息 4 天前后的指标比较

指标	卧床休息前	卧床 4 天后
最大摄氧量 ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	3.5	2.5
最大心率 ($\text{次} \cdot \text{min}^{-1}$)	180	170
最大心输出量 ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	6.3	4.3
心容积 (L)	2.0	1.5

资料来源：邓树勋等编写的《运动生理学》

由于运动技能的生理本质是运动性条件反射。如前所述条件反射形成后，如果反复给条件刺激而不予强化，条件反射就会逐渐减弱而最终完全不出现，即条件反射的消退。同理，运动技能如果长时间中止练习（相当于条件反射不予强化），则已经掌握的运动技能会逐渐生疏而最终不能完成。从运动技能的可消退性角度提示训练的可逆性。

因此，通过体育教学与训练获得的满意的增强各器官功能及提高运动能力和运动成绩的效果必须注意可逆性原理，在锻炼与训练上注意保持经常性和持续性，不应中断训练，作为业余运动训练，应注意全年计划的科学安排，坚持全年训练，并注意训练的周期及节奏，使通过训练已经获得的各器官系统良好功能、身体素质及已经掌握的运动技能得到不断提高，避免因训练中止而消退和下降。

二、全面身体训练原则

儿童少年时期是生长发育旺盛时期，中学体育课和训练课的任务之一在于促进学生的生长发育及全面增强学生各器官功能，为此应该在教学训练过程中给身体各器官以全面影响，使各器官各部位都承受一定的负荷。但是不同的运动项目对身体的影响都有侧重点，也存在不足的地方，这就要求锻炼内容要力求全面多样，使身体得到全面发展。对 员园名少年用不同方式训练 猿个月结果表明，全面锻炼比单一内容训练在身体生长发育水平上的效果要高得多（表 员远 圆）。

表 员远 圆 不同训练方式对少年生长发育的影响

组别	训练年限 (月)	体重增加 (公斤)	身高增加 (厘米)	肺活量增加 (毫升)	握力增加 (公斤)	背力增加 (公斤)
全面身体 训练组	员园	猿缘- 源缘	员缘- 圆缘	猿园- 缘园	源- 远	愿- 员园
单项训 练组	员园	员缘- 圆缘	员- 员缘	员园- 圆园	圆- 猿	源- 远

依据：武汉体院等六院系编 《运动生理卫生》

从儿童少年生长发育的规律看，机体是一个统一的整体，各器官系统的生长发育彼此密切相关，但同时各器官的功能及生长发育速度有所不同。在各器官系统中，以神经系统生长发育最早，进入中学时，脑重已达成年人的 怨园%以上。联络神经纤维数量增加迅速，思维能力也大大提高，因此中小学时期是学习的各种运动技术的最好时期，是发展基础能力，掌握多种技能，为日后提高运动成绩打下基础的时期。这个时期应进行全面的身体练习。

从神经生理学角度看，大脑皮层已经建立的条件反射越多，在此基础上建立的条件反射就越容易，有利于各项运动技术的掌

握及提高。如果在中小学时期运动技术过专门化,学生建立的运动条件反射数量少,对日后提高运动成绩会带来困难。

全面身体训练在中小学体育课及训练课中尤应注意,但同时不要将全面身体训练与发展学生的专项能力对立起来。全面身体训练、专项身体训练及专项技术训练应合理结合。从生理学规律考虑,应注意年龄、训练水平、季节及竞赛等因素的合理安排:

一、年龄因素

年龄愈小全面身体训练的比重愈大。儿童少年时期各器官系统均处于生长发育旺盛阶段,宜注意给各器官系统以全面影响而不宜过分专项训练,以便打下全面体质增强的基础。

二、训练因素

训练水平愈低开始训练的时间愈短,全面训练的比重应愈大,随训练水平的提高,可逐步增加专项训练的比例,但决不能忽视身体全面训练。即使是训练水平很高的运动员,也仍要进行一定比重(约1/3~1/2)的全面身体训练,这对提高专项成绩十分有益。

三、季节因素

一般说,除冰雪等冬季竞赛项目外,大多数运动项目冬季竞赛少,且冬季气候严寒,宜增大全面身体训练的比重。

四、竞赛因素

在竞赛期,为了强化已经建立的专项运动动力定型,保持训练强度而减少总负荷量,适当减少全面训练比重而加强专项训练的内容。

三、循序渐进原则

体育教学与训练中的循序渐进原则的生理学基础是生物机体对刺激的适应规律及运动条件反射的建立和巩固规律。具体在教学与训练中的动作的难易、技术的繁简、运动负荷的大小等都应

从易到难，由简到繁，从小到大。既不能急于求成，又不能踏步不前；既要循序，又必须渐进。

运动训练的生物学本质即是在外界刺激下产生的适应的过程，这种表现在人体各器官系统形态结构、生理功能和生物化学方面的适应绝不是一朝一夕之功，而是多次重复刺激下逐渐产生的。

生物科学的研究表明，机体对刺激作用的反应从属于刺激的强度、性质以及机体功能对反应的准备。较弱的刺激不能引起机体功能的变化，而过强的刺激对机体有不良的甚至破坏性的作用。因此体育教学训练课中负荷量的大小直接影响训练效果，在负荷量的安排方面要遵循循序渐进的原则，逐渐增加训练的负荷。随着锻炼效果的发展和学生体质的增强，机体对原有的生理负荷反应越来越小，训练效果也会降低，有必要增加刺激的强度，增加教学训练给予的生理负荷。但是作为一个体育教师和教练员也不要急于求成，若给予的训练负荷过大，就可能超过生理许可范围而带来运动损伤。尤其在生长发育期的儿童少年，不遵守循序渐进的原则而使负荷过大，容易造成骨骺损伤或引起骺软骨过早骨化而影响生长发育。另一个方面，如果负荷过小或踏步不前，也可能因刺激强度过小而使各器官产生适应性削弱。

高级神经活动的研究表明，多级复杂的条件反射只能建立在简单的条件反射的基础上。因此教学与训练过程中动作技能的难易，必须遵循这一运动条件反射建立和巩固的规律，从易到难、从简到繁，才易于掌握。根据神经过程内抑制的发展规律显示，机体分化抑制过程的发展是由粗糙的泛化逐步发展到精细的分化。因此学习运动技术动作的顺序，教学方法的选择都要从神经生理学提示的这一规律来安排。

四、区别对待原则

区别对待原则是指教师和教练员从学生的实际情况出发,根据学生或队员的年龄特征和个体差异以人为本地进行教学训练。体育教学训练的效果,要通过学生和队员机体的变化予以表现,而每一名学生或队员的心理和生理状况、形态、发育特点及智力水平都各不相同,要想使训练工作取得理想的效果,就必须认真处理好教学训练过程组织中的集群性和个体性之间的关系,考虑到学生或队员的个人特点,区别对待,有针对性地组织运动训练过程。

区别对待是学生和运动员身心发展的规律在教学和训练中的反映。具体来说,一方面教学训练的深度、进度和难度要适合学生的知识和训练水平;另一方面,教学训练必须考虑学生的个性特点和个体差异,注意他们的接受能力,发挥其能动性和积极性,使他们的才能得到充分的发展。一定年龄阶段的个体,在形态结构、生理功能和心理素质等特点中既有一定的稳定性,又有一定的可变性。这是因为在生理上,特别是大脑与神经系统的发展上都要经历一定的过程。他们所获得的社会经验、知识行为和运动技能都有一定的顺序性。这些方面,一定年龄阶段的学生有共同的生理特征,又由于各人的生理条件、社会环境和所受教育的不同,同一年龄阶段的学生和运动员在运动能力发展上有所差异,形成了他们的个性特点。

贯彻区别对待原则,要注意学生和队员的年龄、性别、身体发育和健康状况等特征,这部分内容在儿童少年及女子的生理特点中已介绍;还必须注意学生个性特征。贯彻区别对待的原则有意识地培养队员和学生的性格及其神经活动类型的过程,也是一种教育过程。

第二节 运动负荷的生理学分析

体育课与训练课中机体承受的生理负荷是否适宜，是影响体育教学与运动训练效果的重要因素。运动时机体承受的生理负荷对机体的刺激，是引起各器官系统功能产生适应增强的诱发因素。一般来说，生物机体对过强刺激将不能产生良好的适应甚至可能导致损伤，过弱的刺激则会延长适应的发生过程，只有在生理范围内适宜刺激才能加快适应过程。

一、影响生理负荷的因素

体育教学和训练中，练习的强度、密度、持续时间以及练习的数量是影响生理负荷大小的因素。

运动练习的强度

是指单位时间内所做的功，即功率。在一些周期性运动练习如跑、竞走、游泳等项目，由于人体体重在一次练习中是恒定的，往往以跑速、游速来表示强度，或以本人最大速度的百分比来表示强度，如以本人最高跑（游）速的百分速度跑（游）等。为了准确地反映该运动练习给予机体各器官生理负荷的强度，教学训练中又常用运动时的心率来作为控制强度的方法。如一次强度大的快速冲刺，要求游毕即刻心率每分在140-160次，或一次强度中等的耐力练习后心率控制在每分120-140次等，用心率控制和掌握强度比利用跑速控制强度更为客观些。

在一些非周期练习如力量性练习中，强度的衡量往往用负荷的重量（如负重或举起多少重量）或单位时间内完成同一负荷的次数多少来衡量。

运动密度

运动密度是全课实际练习时间与全课总时间之比。在相同的

上课时间内, 各次练习之间的间隔时间愈短, 重复练习的次数愈多, 运动密度就愈多。

$$\text{运动密度} = \frac{\text{全课实际练习的时间}}{\text{全课总时间}} \times 100\%$$

运动持续时间

是指一种练习或一堂体育课、训练课的持续时间。在强度密度基本相同的情况下, 运动持续时间愈长, 机体的生理负荷量必然愈大。

运动练习的数量

是指一次教学或训练课中完成练习的总次数、总距离或总重量。在非周期性练习中, 可用完成练习的总次数来表示; 在周期性练习如跑、游泳等可用完成的总距离计算; 而在举重练习中则以完成举起的总重量衡量。

强度、密度、时间和数量是组成生理负荷量的主要因素。它们之间又相互关联、相互影响, 在其他因素基本相同情况下, 某一因素的变化均会影响该次练习所给予人体的生理负荷的变化。

二、中学体育教学负荷量

中学体育教学负荷的生理学基础是心搏峰理论与最佳心率范围理论。人们从安静状态至运动, 心率随负荷的增加而增加, 每搏输出量也随心率的加快而增加, 然而当心率增加至一定水平时, 每搏量将达峰值而不再增加, 此后的心输出量的增加主要取决于心率的加快。运动生理学将每搏量达到峰值时的心率水平称“心搏峰”。心输出量是心率与每搏量的乘积, 到达心搏峰水平时, 每搏量虽已达峰值, 但此时心率远未达最高水平, 因此心输出量未达最大, 随着心率进一步增加, 虽然每搏量不再增加但二者的乘积仍然不断增加, 心输出量随心率的增加而加大。当心率到达一定限度时, 一般成人约在 140 次·分⁻¹ 时, 心输出量达

最大,超过 $150\text{次}\cdot\text{min}^{-1}$ 后,由于心充盈时间太短,心输出量将不再增加反而会有所减少。习惯上将心输出量能保持在较高水平的心率范围称“最佳心率范围”,约在每分钟 $120\sim 140$ 次至 $160\sim 180$ 次之间。

目前,在了解和评价一堂体育课的生理负荷时,常用心率作为指标,心率的快慢反映体内耗氧水平,可间接反映运动练习对机体的生理负荷。我国一些地区和学校建议将体育课适宜生理负荷的平均心率标准定为 $120\sim 140$ 次 $\cdot\text{min}^{-1}$ 。这 $120\sim 140$ 次 $\cdot\text{min}^{-1}$ 是平均心率,在组成这一平均心率中应有不同高低心率组成。从青少年生理特点出发,在体育课平均心率 $120\sim 140$ 次 $\cdot\text{min}^{-1}$ 中,应考虑充分利用心搏峰及最佳心率范围理论,即:一是要在心搏峰心率水平上持续运动一定时间,使保持心搏峰的时间较长,以发展心肌泵血功能;二是应注意到心搏峰时心率水平并不高,每分钟心输出量未达最高水平,心泵功能未发挥最大泵血效率。因此,在体育课中也应有高潮,有心率出现高峰达最佳心率范围高限的时间,以使体育课让青少年心泵血功能获得更好锻炼。

应该指出,在运用心率评价体育课生理负荷时,还应考虑到练习项目的内容特点,周期性运动如跑、竞走、游泳等练习心率较高,而非周期性项目如体操、投掷等练习心率就较低。因此应具体分析,同时在内容安排上起互补作用。

三、中学课余训练负荷量

中学课余运动训练除增强学生体质的任务外,尚有提高运动成绩和参加运动竞赛的任务。因此训练课的负荷应该比体育教学课高,也就是训练应体现超量负荷原则,使训练时机体产生更大的应激而获取更佳效果。但青少年正处在生长发育阶段,各器官功能和成年人尚有距离,因此超负荷量应和成年人有所区别。

业余训练的负荷主要应用最佳心率范围规律，应使训练中大多数时间内心率处在最佳心率范围之中，同时最佳心率范围的高限因不同项目而有不同要求。对于青少年训练时，在掌握训练负荷时，应充分考虑青少年的特点，宜注意以下几方面：

1. 运动强度要合理控制

儿童和青少年对匀速的中小强度生理负荷容易适应，而对强度大的负荷不易适应。由于儿童少年循环功能尚不完善，摄氧能力较成人差，对强度大的负荷适应能力差。故学校业余训练中对儿童少年训练的生理负荷加大宜从增加数量及密度入手，注意控制强度。

2. 负荷量节奏要合理安排

儿童少年正处于成长阶段，代谢旺盛、能量消耗多，容易疲劳但恢复也较快。因此在大负荷量训练的过程中宜合理安排一些中、小负荷量，使大、中、小负荷合理结合、节奏明显，使儿童少年机体在大生理负荷训练后加速消除疲劳。

3. 注意不同项目的特点

体内不同能量物质的恢复过程的速度各有特点，如磷酸肌酸消耗后出现超量恢复过程早，糖原其次，蛋白质和脂肪最晚。一些研究资料报道，磷酸肌酸在跑完400m后，超量恢复在第4~6min出现；在进行短时间高强度运动后，肌糖原大约在第2~3h出现超量恢复；运动后蛋白质的超量恢复比肌糖原出现得更晚，在一次马拉松跑后脂肪代谢到第三天才能恢复。因此不同项目训练节奏的安排应与这一消耗恢复特点相适应。

4. 注意营养与休息

儿童少年正处在生长发育旺盛时期，需要摄取更多的营养物质以供生长发育需要，而在业余训练中，尤其是假期运动队集训期，由于负荷量较大，机体消耗较平常多得多，因此必须保证儿童少年合理的营养补充，尤其是足够的蛋白质、糖类和较丰富的

维生素，同时要控制比赛次数，注意正常的生活作息制度，保证儿童充分的休息，以利于儿童少年身体健康及生长发育。

第三节 摇训练方法的生理学分析

运动训练的目的在于不断增长机体的工作能力。为了保证应有的训练效果和培养发展运动员的运动能力，训练课中的量、强度、休息时间等方面的分配具有重要意义。不同的训练方法对机体产生不同生理、生化变化。科学合理地运用各种方法，能有利于掌握运动技能，提高各器官生理功能，增强教学和训练的效果。

一、间歇训练法

间歇训练法最初由德国著名心脏学家赖因德尔（~~瓦特曼~~）及长跑教练施格勒（~~瓦特曼~~）所提出。指对多次练习时的间歇时间作出严格规定，使机体处于不完全恢复状态下，反复进行练习的训练方法。

现在世界各国，包括我国在内的各种运动项目，尤其是田径和游泳项目，都采用了间歇训练法进行训练。在球类运动中足球、篮球等也都使用这种方法进行训练。在 ~~瓦特曼~~ 年以前，人们想提高跑的成绩的唯一方法，是延长训练时间，由于间歇训练方法的提出，为人们提高运动成绩开创了新的途径。

间歇训练法的若干生理特点

（员）间歇训练中间歇期心肺功能的生理特点

间歇训练法由于对练习强度及间歇时间有严格的规定，在身体各器官功能未足够恢复又开始下一次练习，因此对机体能产生多种生理效应。一些研究表明，间歇训练是对内脏器官进行训练的一种良好方法，它使运动器官（肌肉）在间歇期内得到休息，

而使心血管系统和呼吸系统在休息期仍然保持较高水平。

在快跑段肌肉运动时，可以反射性引起心脏与呼吸机能不断提高。如果运动距离短时，呼吸频率、呼吸深度和肺通气都在间歇时间内明显升高。日本学者在对间歇训练的研究中取得了可喜的成果，他要运动员平均以 100 米的成绩跑完 1000 米，然后以 100 米慢跑为间歇，在反复练习 10 次的过程中每隔 100 米的快跑和间歇期中测量摄氧量、每分摄氧量和心率的变化，结果间歇期都高于快跑期，这也说明在间歇期和快跑期呼吸、循环系统承受较大的负荷。由于间歇期有上述特点，所以有些人把这种不完全休息称为“黄金般的休息”。

（四）间歇期中摄氧量高于快跑期

从摄氧量上来看，在快跑段由于内脏器官均未被动员，所以摄氧量不大，但在运动后间歇期内内脏器官机能均有明显升高，运动后的间歇期心输出量明显上升，血流量增加，毛细血管开放，故耗氧量在间歇期也达到了较高的水平。

（五）间歇训练法可以完成更大的运动量

各种不同的训练方法都是为了提高身体机能水平而采取的不同手段，带有间歇的工作比连续工作能完成更大的工作量，并且用力较少。奥斯特朗发现，用两种不同的方法进行每分钟完成 1000 千克米的工作时发现：持续的工作时间只进行 10 分钟，完成的总工作量为 10000 千克米；如果用同样的负荷，每活动 10 分钟后休息 10 分钟就可以坚持 40 分钟，总工作量为 40000 千克米。

（六）间歇训练法对供能系统的影响

改变间歇训练的强度和间歇时间能使间歇训练分别服务于提高三个不同的能源系统。可以根据不同项目对机体生理生化的不同要求，对练习的距离及间歇时间作不同的安排。如发展绝对速度，提高磷酸原供能系统能力，宜采用 100 米最大强度跑，间歇时间最佳为 10 分钟。如间歇时间过短，由于磷酸原的恢复不适宜，

会使血乳酸明显升高，对提高磷酸原供能系统的效果就不显著。为发展糖酵解供能能力，常采用最大乳酸训练。通常以最大强度跑 员皂皂 间歇 猿~缘皂皂 的多次跑。因为一次跑后，不可能使运动员的血乳酸达到最高水平，在多次的间歇训练后，可使血乳酸达到人体的最高水平，从而提高运动员的糖酵解供能能力，同时对于训练水平不同的运动可改变间歇时间的长短。为发展有氧供能能力，则宜采用强度较低，间歇时间较长的练习，奥斯特朗主张用 愿皂皂 的强度跑 猿~缘皂皂 间歇 猿~缘皂皂。他认为发展有氧能力，跑的时间宜和间歇时间一样长。

圆 间歇训练的构成因素

间歇训练法运用成功的关键，是根据不同年龄及训练水平、专项特点，从而科学合理地安排好每次训练的强度、休息间歇时间及重复的次数等。间歇训练法主要由下列五个因素构成：

- (员 每次练习的距离或时间；
- (圆 每次练习重复的次数及组数；
- (猿 每次练习负荷的强度；
- (源 每次或每组练习之间的间歇时间；
- (缘 间歇期的休息方式。

猿 采用间歇训练应注意的问题

(员 根据训练的具体任务应采取不同的训练方法

- ①发展一般耐力。强度小、距离长、组数多。
- ②发展速度。距离短、强度大、组数以不降低跑速为主。
- ③发展力量耐力。重量轻、强度小、次数和组数都较多的练习。

(圆 间歇训练法各因素的变化是相互影响和制约的，因此在变化某一因素时，要充分考虑对其他因素的影响。

(猿 间歇训练的负荷一般较大，对运动员机体的机能水平要求较高，因此使用此方法时，要求运动员有一定的训练基础，

并注意加强医务监督。

二、重复训练法

重复训练法也称为反复训练法,是指在不改变动作结构和运动负荷的情况下,按照既定的要求,反复地进行练习,每次(组)练习之间的间歇时间能使机体基本恢复的一种练习方法。这是运用比较广泛的一种训练方法。其优点是由于对同一动作多次重复,不断强化运动条件反射,有利于运动技术动作的掌握与巩固;同时由于多次重复,可使身体生理负荷达到较高程度,对发展身体素质及各器官功能水平作用也较大。无论周期性和非周期性的运动项目都被采用。

重复训练法的主要特点

(员) 每次练习的负荷强度较大。通常采用接近比赛或达到比赛的强度,在周期性项目中用 怨园豫 ~ 员园园豫 的强度。练习的距离根据各专项特点,可采用短、中、长三种形式。非周期性项目可用 怨园豫 的强度,也可用 员园园豫 的强度。

(圆) 每次重复练习的动作结构和负荷数据不变。

(猿) 重复练习之间的间歇时间要充分休息。以运动员机体疲劳消除、工作能力基本恢复为止。

重复训练法的工作特点和练习方法

(员) 短距离重复训练的工作特点及训练

① 短距离重复跑,强度大,持续时间短。这种练习对中枢神经系统的要求较高。表现在大脑皮质运动区对肌肉收缩放松快速转换的调节能力上;表现在大脑皮质兴奋和抑制两个神经过程快频率的转换上;表现在来自本体感觉器的高频率的传入冲动,不断传入大脑皮质,使皮质处于高度的兴奋状态上。因而皮质细胞易疲劳,使工作能力下降,所以不能长时间持续高速度运动。

② 提高磷酸原和糖酵解供能能力。从体内的代谢过程来看,

从事 100m 短跑的运动项目，也只不过需要 10s 左右的时间就能完成，由于呼吸循环机能的情性比较大，来不及吸入很多氧气，所以肌肉只能依靠磷酸原和糖酵解供能。因此从事短距离重复训练有利于提高磷酸原和糖酵解供能能力。

③提高大脑皮质的灵活性。从短跑所具备的因素看，距离越短，肌肉收缩所必需的速度越快，而速度所占的百分比越大和距离越长，所需要的速度耐力的百分比越大。对于 100m 短跑运动员来说，用重复训练法的主要目的是要发展磷酸原快速分解供能能力，提高大脑皮质的灵活性。易采用的方法：行进间跑，如 100m 或 200m 的重复跑；在提高步频的同时，应该适当的加大步幅，提高后蹬力量和髋关节的柔韧性，从而提高大腿的摆动幅度，提高速度。

（四）中距离重复训练的工作特点及练习方法

中距离重复跑的训练中，肌肉收缩强度大，时间长，其供能主要由糖酵解系统提供。其特点：

①中跑项目的乳酸堆积量最多。

②提高最大摄氧量。由于运动强度大，每分需氧量大，而且工作时长，所以能动员呼吸、循环机能达到最大机能限度和最大工作能力。一般人最大摄氧量只有 2.5L/min 而优秀的中长跑运动员可达到 3.5L/min

③提高耐受乳酸能力的训练方法。用什么方法进行重复训练能更好地提高耐酸能力呢？一般采用负荷强度较大（负荷心率应在 160 次·min⁻¹以上），负荷时间在 10-20min 的重复训练，充分动用糖酵解系统，间歇时间应当充分。

（五）重复训练法应注意的问题

（1）每次重复训练要保持预先固定的强度，强度的确定要以运动员本人所能承担的最大强度为限，一般应接近或达到比赛的强度。

(圆) 两次重复训练之间的休息时间要充分。

(猿) 不同运动项目运用重复训练法有不同的安排和要求

①周期性的短距离项目：发展速度，强度要达到比赛强度，距离低于或等于比赛距离。

②周期性中长距离项目：主要发展速度耐力，强度一般略低于比赛强度，距离一般都比较长。

③非周期性项目：主要提高和巩固技术动作，发展力量素质、速度素质和专项素质等。

④根据训练课的具体任务确定重复训练强度和次数及其他要求。

⑤重复训练法由于反复练习同一动作，运动员尤其少年运动员容易产生单调乏味的情绪，影响训练的积极性，因此在训练中应注意结合比赛的方法，提高运动员重复练习的兴趣，以便取得良好的训练效果。

三、持续训练法

持续训练法是指在相对较长的时间里，用较稳定的不太大的强度，不间断地连续进行练习的方法。目前田径的中长跑和游泳运动中，常用长距离的持续性匀速运动来发展一般耐力。持续性的练习主要用于锻炼心肺功能和发展有氧耐力。

持续训练法的特点

持续性训练的时间相对较长，也就是一次连续练习的量比较大；运动强度不太大，一般在 70% 左右的强度；对机体刺激所产生的影响比较缓和；持续训练效果出现得较慢，但是比较稳定。

持续训练的生理依据

(员) 日本小林义雄认为，强度不大，时间较长的持续练习称为发育期最佳的训练方法。新西兰著名长跑教练迪亚德提倡处

于发育期的青少年运动员应以低强度持续训练为主，不适宜采用强度太大的快速间歇的训练手段。库珀提出，青少年发展有氧耐力，最少要坚持 缘皂次的练习，心率一般在 员圆次·皂秒较为适宜。

（圆 国内外研究表明，儿童少年应以较低强度的匀速持续训练为主。沈阳体院对儿童少年采用低强度的匀速持续练习发展耐力，在训练后对生长发育无不良影响。日本学者研究表明员~员岁男孩经四个月耐力后，肌糖原由原来每公斤体重 圆院院早增加到 员院院早 日本加贺谷报导，儿童少年用最大强度的 愿院跑缘皂次，每周训练 猿次，三个月后最大摄氧量明显增加，如表员猿所示。

表员猿 猿院~员岁儿童以 愿院最大速度进行 缘皂跑训练的最大摄氧量的变化

性别	最大摄氧量（皂皂·噪·皂秒）			最大摄氧量（皂皂·噪·皂秒）		
	训练前	训练后	增长数	训练前	训练后	增长数
男	员院院	圆院院	垣院院	源院院	缘院院	垣院院
女	员院院	员院院	垣院院	猿院院	源院院	垣院院

依据：加贺谷报导 愿院年

猿持续训练法应注意的问题

（员 控制好运动负荷。持续训练的运动负荷是由练习时间和负荷强度两大因素决定的。因此练习强度增大时就要缩短练习时间，而当延长时就要降低负荷强度。

（圆 在准备期或休整期仍应发展一般耐力或保持耐力水平，此时，采用中、小强度的练习是可行的。

（猿 持续训练方法不能千篇一律，要根据不同年龄、不同专项和不同训练水平的运动员，根据不同的任务采取不同的练习方法。

（源 持续训练法在发展专项耐力时，往往也要加大练习强

度。这对心血管系统的机能要求较高，因此在少年儿童运动员的训练中运动负荷不宜太大。

除以上介绍的训练方法之外，还有循环训练法、比赛训练法及高原训练法等。无论采用何种训练方法，选择适当的训练强度是最重要的，工作强度及所能持续的时间二者又是相互制约的。强度较低的工作能持续较长的时间，但又不能充分动员人体的呼吸、循环系统机能，也不能有效地发展有氧代谢系统；相反，强度过大时，持续时间缩短，且供能特点可能发生改变。所以选择合理的训练强度是当前运动训练中有待解决的问题。

思考题

1. 试述用进退原则的生理学基础。

2. 试述全面身体训练原则的生理学基础。

3. 何谓循序渐进原则和区别对待原则？

4. 影响生理负荷的因素有哪些？

5. 何谓间歇训练法？

6. 简述间歇训练法的生理特点？

7. 持续训练法和重复训练法有何异同？

让运动员反感的教练员

侮辱型：这是运动员最厌恶的教练员。当运动员失败或没按照其意图去做时，不分场合，并以不堪入耳的语言讽刺或训斥运动员。

喊叫型：总认为教练员的成功取决于声音的分贝。常常会在比赛或训练期间，朝工作人员或他的队员大喊大叫，发号施令。

炫耀型：比赛胜利后或运动员受到记者采访时，急急忙忙地跑向运动员，让所有的人都知道谁是教练员。

唠叨型：无论大小事，不分主次地反复讲，生怕别人不明白自己的意图，使运动员往往不知所措。运动员又常戏称这类教练员为“婆婆妈妈”型。

“学者型”：总是制定各种不切合实际、过于复杂的战术计划、策略方针、准备措施，使运动员心理负担很重。

报复型：用惩罚手段贯彻各种规章，易使运动员产生抵触情绪，这种情绪一旦被察觉，又会受到种种形式的报复。

平庸型：只是一成不变的指导方针，到了复杂的竞赛环境就撒手让运动员随便去干，或仅说一些鼓励的话，不能指出存在的问题；平时指导训练时还可以，一旦到了比赛就茫然不知所措，使运动员失去了“主心骨”。

选自《中国学校体育》~~员~~源年第 源期

参考文献

- [1] 体育学院通用教材 运动生理学 北京：人民体育出版社，1994
- [2] 邓树勋 运动生理学 北京：高等教育出版社，1998
- [3] 杨锡让，傅浩坚 运动生理学进展 北京：北京体育大学出版社，1994
- [4] 张冬梅 生理学 北京：科学出版社，1994
- [5] 王庭槐 生理学 北京：高等教育出版社，1994
- [6] 田野 运动生理学高级教程 北京：高等教育出版社，1994
- [7] 邓树勋等 高级运动生理学—理论与应用 北京：高等教育出版社，1994
- [8] 吕新颖 运动生理学 南京：南京大学出版社，1994
- [9] 许豪文 运动生物化学概论 北京：高等教育出版社，1994
- [10] 杨锡让 实用运动生理学 北京：北京体育学院出版社，1988
- [11] 王健 运动人体科学概论 北京：高等教育出版社，1994
- [12] [芬] 帕沃 帕沃 体育运动中的力量与快速力量（修订本） 北京：人民体育出版社，1994
- [13] 石井喜八等主编 王起然等译 运动生理学概论 北京：人民体育出版社，1988
- [14] 陈永清等主编 运动生理学 合肥：中国科技大学出版社，1988
- [15] 曲绵域等主编 实用运动医学 北京：北京科学技术出版社，1988
- [16] 姚泰 生理学 北京：人民卫生出版社，1994
- [17] 茹克司主编，杨锡让等译 运动生理学 北京：北京体育学院出版社，1988
- [18] 龚茜玲，钱梓文 生理学 上海：上海医科大学出版社，1988