



卫生部“十二五”规划教材

全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材

供康复治疗专业用

人体运动学

主 编 黄晓琳

第2版

 人民卫生出版社

013061710

R87-43
02-2

卫生部“十二五”规划教材
全国高等医药教材建设研究会“十二五”规划教材
供康复治疗专业用

人体运动学

第2版

主 编 黄晓琳

副主编 刘志成 敖丽娟

编 者

(以姓氏笔画为序)

马 萍 (哈尔滨医科大学大庆校区)

王玉昕 (广州体育学院)

冯 伟 (上海中医药大学康复医学院)

刘志成 (首都医科大学)

刘雅丽 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

庞 伟 (佳木斯大学康复医学院)

敖丽娟 (昆明医科大学)

徐冬青 (天津体育学院)

黄晓琳 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)

曹师承 (中国医科大学)

秘 书

刘雅丽 (华中科技大学同济医学院附属同济医院)



人民卫生出版社



北航

C1668125

R87-43

02-2

013081710

图书在版编目(CIP)数据

人体运动学 / 黄晓琳主编. —2 版. —北京: 人民卫生出版社, 2013

ISBN 978-7-117-17331-5

I. ①人… II. ①黄… III. ①人体运动—人体学—高等学校—教材 IV. ①G804

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 093899 号

人卫社官网	www.pmph.com	出版物查询, 在线购书
人卫医学网	www.ipmph.com	医学考试辅导, 医学数据库服务, 医学教育资源, 大众健康资讯

版权所有, 侵权必究!

主编 黄晓琳

主编 黄志斌 副主编 魏丽斌

主审 曹蔚

人体运动学

第 2 版

主 编: 黄晓琳

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-59780011)

地 址: 北京市朝阳区潘家园南里 19 号

邮 编: 100021

E - mail: pmph @ pmph.com

购书热线: 010-59787592 010-59787584 010-65264830

印 刷: 北京市文林印务有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787 × 1092 1/16 印张: 14

字 数: 341 千字

版 次: 2008 年 3 月第 1 版 2013 年 3 月第 2 版
2013 年 3 月第 2 版第 1 次印刷(总第 6 次印刷)

标准书号: ISBN 978-7-117-17331-5/R · 17332

定价(含光盘): 32.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: WQ @ pmph.com

(凡属印装质量问题请与本社市场营销中心联系退换)

吴登南 员委丑主普各
袁煜燕 员委丑主

第二轮全国高等学校康复治疗专业教材出版说明

袁煜燕 袁煜燕 袁煜燕 袁煜燕 袁煜燕

袁煜燕 袁煜燕 袁煜燕 袁煜燕 袁煜燕

为适应我国高等学校康复治疗专业教育、教学改革与发展的需求，经全国高等医药教材建设研究会规划，全国高等学校康复治疗专业教材评审委员会审定，由全国高等医学院校参与，知名专家教授编写，人民卫生出版社在第一轮全国高等学校康复治疗专业教材的基础上，组织修订出版了第二轮全国高等学校康复治疗专业教材。

本轮教材的编写经过了认真调研、论证，明确本科康复治疗专业的教育、教学定位为培养临床康复医学专业人才；继续坚持“三基”（基础理论、基本知识、基本技能）、“五性”（思想性、科学性、先进性、启发性、适用性）、“三特定”（特定的对象、特定的要求、特定的限制）的原则；结合全国高等学校康复治疗专业教学的特点，并与康复治疗师的考试大纲及资格考试相衔接，精心组织编写，而且在上一轮教材的基础上精简篇幅，使之更适合于康复治疗专业的教学。

本轮教材是在第一轮全国高等学校康复治疗专业 14 种教材的基础上进行的修订，共 17 种，包括专业基础教材 5 种、专业技能教材 5 种、临床应用教材 4 种，新增加教材 3 种（《社区康复学》、《临床康复工程学》、《康复心理学》）。同时为了便于学生学习、复习，本轮教材均配有相应的“学习指导及习题集”和“配套光盘”；此外，为了便于开展实训课，本轮教材中有 9 种教材设置了配套的“实训指导”教材。

- | | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |
| 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 | 袁煜燕 |

全国高等学校康复治疗专业教材评审委员会

名誉主任委员 南登崑

主任委员 燕铁斌

委员

(以姓氏笔画为序)

王宁华 何成奇 宋为群 张 通 李晓捷

岳寿伟 胡永善 敖丽娟 黄晓琳 窦祖林

秘书

金冬梅

教材名称及主编、副主编

专业基础

- | | | |
|----------------|----------|--------------|
| 1. 功能解剖学(第2版) | 主 编: 汪华侨 | 副主编: 韩 卉 |
| 2. 生理学(第2版) | 主 编: 王瑞元 | 副主编: 朱进霞、林默君 |
| 3. 人体发育学(第2版) | 主 编: 李晓捷 | 副主编: 李 林 |
| 4. 人体运动学(第2版) | 主 编: 黄晓琳 | 副主编: 刘志成、敖丽娟 |
| 5. 康复医学概论(第2版) | 主 编: 王宁华 | 副主编: 胡永善 |

专业技能

- | | | |
|------------------|----------|--------------|
| 6. 康复功能评定学(第2版) | 主 编: 王玉龙 | 副主编: 高晓平、张秀花 |
| 7. 物理治疗学(第2版) | 主 编: 燕铁斌 | 副主编: 姜贵云、毛容秋 |
| 8. 作业治疗学(第2版) | 主 编: 窦祖林 | 副主编: 姜志梅 |
| 9. 语言治疗学(第2版) | 主 编: 李胜利 | 副主编: 陈卓铭 |
| 10. 传统康复方法学(第2版) | 主 编: 陈立典 | 副主编: 唐 强、王忠华 |

临床应用

- | | | | |
|-------------------|----------|--------------|----------|
| 11. 临床疾病概要(第2版) | 主 审: 刘文励 | 主 编: 陈志斌 | 副主编: 夏晓玲 |
| 12. 肌肉骨骼康复学(第2版) | 主 编: 张长杰 | 副主编: 岳寿伟、虞乐华 | |
| 13. 神经康复学(第2版) | 主 编: 倪朝民 | 副主编: 张 通、史长青 | |
| 14. 内外科疾病康复学(第2版) | 主 编: 何成奇 | 副主编: 高 敏、吴建贤 | |

第二轮新增教材

- | | | |
|-------------|----------|--------------|
| 15. 社区康复学 | 主 编: 王 刚 | |
| 16. 临床康复工程学 | 主 编: 舒 彬 | 副主编: 赵正全、唐 丹 |
| 17. 康复心理学 | 主 编: 李 静 | 副主编: 宋为群 |

第2版 前言

本科康复治疗学专业卫生部“十二五”规划教材《人体运动学》第1版问世于2008年,经过4年的教学实践,反映良好,证实了该教材的实用性。随着康复医学的不断发展,专业知识的更新,以及国家“十二五”规划对人才培养和提高本科教学质量的进一步要求,需要对《人体运动学》进行再版修订。

由于本书的目的是介绍“人体”的“运动学”,参照国外成熟的学科经验,着重介绍解剖、生理、运动、力学基础等主干,但又要避免与相关教材有过多重复。修订中继续贯彻“三基、五性、三特定”的编写原则和要求,审修内容,去旧更新,削减重复,凝练语言文字,严格控制了字数。本版编者队伍变化较大,并有扩大,兼顾了覆盖面。我们根据学科的新进展和一些使用单位的反馈意见,本书在保留第1版优点的基础上,更新了许多内容,如第一章补充了一些概念介绍(如应力),增加了生物力学基础、人体运动的能量代谢、人体运动的效果评价等内容;对一些章节进行了改写,如将第1版中的“第二章 骨运动学”、“第三章 肌运动学”和“第四章 关节运动学”合并为“第二章 骨骼肌肉系统运动学”;将“心肺运动学”改为“运动与心肺功能”、调整原第六章为“运动控制与步态”;删去1版中有关伤病的诊治内容等。

根据理论课56学时教学安排,把全书分为四章十六节,并按教学课时的比例分配了文字内容的字数,使得教材字数与教学课时的比重能够吻合。明确教学目的要求和教学内容。提出实训课36学时的建议,增加了实训指导、习题集,配套有光盘,以利于教学需要。各院校根据自己的情况参考选用。

第2版成稿过程中经过编者互审,提出意见,多次修改,力求承前启后,使新版更加适应教学改革的需求。

由于水平、时间有限,不足之处在所难免,在此诚挚地恳请广大读者和同事们不吝赐教。

黄晓琳

2013年3月

目 录

第一章 总 论

第一节 人体运动学基础与概念	1
一、人体运动的基本形式、规律及其生理意义	1
二、制动与卧床对机体的影响.....	2
三、心理活动对人体生理运动的影响.....	3
第二节 运动学基础	4
一、运动学基本概念.....	4
二、运动学描写的基本知识.....	4
第三节 动力学基础	5
一、经典力学基础.....	5
二、转动力学.....	8
第四节 静力学平衡	9
一、系统与结构平衡.....	9
二、重心的定义及确定方法.....	12
三、压力平衡.....	12
第五节 生物力学基础	13
一、材料力学相关概念.....	13
二、运动生物力学.....	14
第六节 人体运动的能量代谢	19
一、能量代谢的生物学意义.....	19
二、能量代谢测量.....	19
三、运动能量代谢与人体健康.....	20
第七节 人体运动的效果评价	20

177	.....	.....	.....
178	.....	第二章 骨骼肌肉系统运动学	.....
	第一节 骨运动学	.....	22
	一、骨的运动学基础	.....	22
081	二、骨的运动适应性	.....	28
	第二节 肌肉运动学	.....	40
181	一、肌肉的运动学基础	.....	40
881	二、肌肉的运动适应性	.....	48
	第三节 关节运动学	.....	52
881	一、肩	.....	52
781	二、肘	.....	70
981	三、腕	.....	81
1881	四、手	.....	89
1901	五、脊柱	.....	100
1911	六、髋与骨盆	.....	119
	七、膝	.....	129
0181	八、踝	.....	141
	九、足和足弓	.....	149

1815 **第三章 运动与心肺功能** 1815

	第一节 运动对心肺功能的影响	.....	160
	一、心血管系统对运动的反应和适应	.....	160
	二、呼吸系统对运动的反应和适应	.....	164
	三、有氧、无氧运动	.....	167
	四、耐力运动处方	.....	170
	第二节 心肺功能评定基础	.....	173
	一、运动试验	.....	173
	二、肺通气功能评定	.....	175
	三、最大摄氧量评定	.....	175
	四、乳酸阈评定	.....	176
	第三节 心肺功能异常与运动	.....	176
	一、高血压与运动	.....	176

二、冠心病与运动..... 177
 三、慢性阻塞性肺疾病与运动..... 178

第四章 运动控制与步态

第一节 与运动相关的神经系统结构与反射..... 180
 一、大脑皮质的主要运动区..... 180
 二、运动传导通路..... 181
 三、反射..... 182
第二节 运动控制的调节..... 186
 一、运动控制的调节..... 186
 二、影响运动控制的因素..... 187
第三节 运动控制..... 189
 一、姿势控制..... 189
 二、上肢控制..... 190
 三、行走运动控制..... 191

中英文名词对照索引..... 210

参考文献..... 216

181.....
 180.....
 184.....
 187.....
 170.....
 173.....
 173.....
 172.....
 176.....
 176.....
 176.....

第一章 总 论

康复治疗的目的使病伤残者的功能得到最大限度的恢复或保全,以达到让他们能够生活自理、回归主流社会,提高生存质量的目的。康复治疗是综合的、协调地应用各种专科治疗手段,促进功能的恢复、改善或重建。应用手法或器械在患者的特定部位或区域施加机械作用时,其合理性、有效性和安全性均与操作者的感知判断和被操作者的配合程度密切相关,特别是人体运动障碍,或通过运动可以修复的其他障碍的康复治疗操作的技术核心是“实施力学操控”。操作者的能力与水平取决于其对力与人体结构和系统的力学特点以及其与人体功能关系的理解。

第一节 人体运动学基础与概念

人体运动学研究人体活动的运动规律,如人体或人体特定部位的位置、速度和加速度等。在研究人体运动时,必须注意人体的生物学特征和生理功能,形态特点和组织性状。研究力与生物体运动、生理、病理之间关系的学科叫做生物力学,研究运动中人体和器械运动规律的学科叫做运动生物力学。历史上,运动学侧重研究人体的结构与人体功能的关系。20世纪,运动学在医学领域得到了广泛的应用,关节力学、人体运动学、运动生理学等医学相关内容融入了运动学范畴。依据人体的功能解剖和运动规律,人们把生物力学运用到康复治疗中,形成了一整套的康复运动学治疗理论和运动治疗方法;本书所讲的人体运动学,除了人体的功能解剖学、生物力学和运动生物力学的内容之外,还包括运动与心肺功能、运动控制与步态等内容,因为在康复治疗过程中,这些系统运动是彼此关联的。

一、人体运动的基本形式、规律及其生理意义

人体运动是维持生命活动的主要形式。人体运动是多系统协调工作机制,呼吸运动和血液运动停止代表着生命终止,肌骨系统运动需要呼吸和血液运动支持。在进行康复治疗时,一定要注意统筹多系统的运动量控制。判断一种运动是否充分或过量,要判断其对本运动系统作用的结果,也要估算其对相关系统的作用效果。人体各系统的运动包括呼吸运动、体液流动、肌骨系统运动、消化运动、还有颌面运动等,这里只简单介绍在康复治疗过程中最经常遇到的系统运动。

(一) 呼吸与体液循环

呼吸运动是肋间肌和膈肌等呼吸肌群的收缩和舒张,使胸廓扩大和缩小的运动。呼吸运动是使肺内气体与外界气体交换,提供机体代谢所需的氧,排出体内产生的二氧化碳。

机体含有大量的水分,这些水和溶解在水里的各种物质总称为体液,约占体重的60%。体液可分为细胞内液和细胞外液。人体新陈代谢是一系列复杂的生物物理和生物化学反应过程,主要是在细胞内进行的。细胞外的液体有血浆、淋巴、脑脊髓液及组织液各种液体。在进行康复治疗操作时要根据患者的非活动能力来设置训练强度,在进行手法操作时,要考虑到体液的循环作用,才能够获得理想的治疗效果。

(二) 肌骨系统运动

肌骨系统主要控制身体的节段运动。肌肉通过收缩来完成运动控制。肌肉组织还控制心脏跳动、血液循环、淋巴和尿液的流动以及食物与废物在肠道中的蠕动。肌肉的主要功能就是运动控制,我们的姿势和运动形态直接反映了我们整个身体所处的状态。脸部肌肉的收缩和舒张反映着我们内心感受和情绪,身体通过姿势和运动来展示健康状况。

运动时刻在发生。在骨骼系统中,同步性是由从颅骨到骶尾骨精细的运动配合达成的,这种连接被称为核心连接。当颅骨发生运动的时候,骶尾骨也会随之运动。在健康的机体中,所有的骨骼会随着核心连接的运动而有节奏的运动。而当肌骨系统的运动发生异常时,将会对机体造成不同程度的伤害。

(三) 运动的生理效应

人体运动时,肌肉温度升高,肌细胞蛋白质的黏滞性减低,肌细胞移动的机械效率会得到提高,肌肉收缩的速度加快,收缩的力量增大。相反,当肌肉的温度低于正常体温时,肌肉的黏滞性会增加,使肌肉收缩的速度变慢,收缩的力量减小。更重要的是温度升高也会加速神经信号的传导,提高神经感受器的灵敏度,使神经肌肉间的协调作用得到增强。

二、制动与卧床对机体的影响

制动(immobilization)指人体局部或者全身保持固定或者活动被限制,常用于临床医学和康复医学的保护性治疗,以减少体力消耗或脏器功能损害,稳定病情,帮助疾病恢复。制动有三种类型:①卧床休息;②局部固定(如骨折固定);③肢体和躯体神经麻痹或瘫痪。制动本身也具有负面效应,不仅影响疾病的康复过程,而且会增加合并症,影响临床治疗。运动是康复治疗的基本手段,也是防治制动副作用的方法之一。运动过分会造成机体强烈应激,影响组织的修复和愈合,甚至影响机体内环境的稳定性,造成病情恶化或生命危险。

1. 制动对心血管系统的影响很大。短期制动会导致血液循环减缓,长期制动可导致心血管系统功能衰退。

2. 局部制动对肌肉和骨关节系统的影响严重。骨折或骨关节手术后的固定,会导致患者在去除固定后发生肌肉萎缩、关节功能障碍。制动会使肌肉体积减小,肌纤维间结缔组织增生,非收缩成分增加,导致肌肉的肌力下降,肌力下降还与肌肉运动神经的兴奋性下降有关。长期制动,将加快骨吸收。固定会使关节僵直,滑膜粘连,纤维组织增生,韧带的力学特性遭到破坏。

3. 卧床数周后,呼吸肌肌力下降,胸廓外部阻力加大,弹性阻力增加,不利于胸部扩张,肺的顺应性变小,肺活量明显下降。另外,卧位时膈肌的运动部分受阻,使呼吸运动减

少,容易诱发呼吸道感染。

4. 长期制动会产生感觉剥夺和心理的社会剥夺感。感觉输入减少,会产生感觉异常和痛阈下降。与社会隔离,加之原发疾病和外伤的痛苦,会产生焦虑、抑郁、情绪不稳和神经质,或出现感情淡漠、退缩、易怒、攻击行为等,严重者有异样的触觉、运动觉、幻视与幻听。认知能力下降,判断力、解决问题的能力、学习能力、记忆力、协调力、精神运动能力、警觉性等均有所障碍。

5. 长期卧床及病痛对精神和情绪的影响,可减少胃液的分泌,胃内食物排空的速率减慢,食欲下降,造成蛋白质和碳水化合物吸收减少,产生一定程度的低蛋白血症。胃肠蠕动减弱,食物残渣在肠道内停留时间过长,水分吸收过多而变得干结,造成便秘。

6. 卧床时抗利尿激素的分泌减少,排尿增加,随尿排出的钾、钠、氯增加。由于钙自骨转移至血,产生高钙血症。血中多余的钙又经肾排出,产生高尿钙症,加之卧位时腹压减小,不利于膀胱排空,容易产生尿路结石。瘫痪患者导尿次数多,泌尿系统感染的机会增加。结石的形成降低了抗生素的治疗结果,泌尿系统感染反复发作。

7. 制动还可使皮肤及其附件产生萎缩和压疮。皮下组织和皮肤的坚固性下降。食欲不佳和营养不良加速了皮下脂肪的减少和皮肤的角化。皮肤卫生不良导致细菌、真菌感染和甲沟炎。大面积压疮使血清蛋白质尤其是白蛋白减少。血清蛋白质减少使组织渗透压下降,加速了液体向细胞间渗出,引起下肢皮肤水肿。

8. 长期卧床往往伴有代谢和内分泌的障碍,出现肌肉骨骼和心血管系统并发症。往往在心血管功能开始恢复时代谢和内分泌变化才表现出来,如负氮平衡、内分泌变化、水电解质紊乱等。

三、心理活动对人体生理运动的影响

人是身心高度统一的整体,人体运动是生理活动和心理活动的综合表现,二者既相互联系又相互影响。大脑是中枢神经系统的最高级部位,是各种心理活动的物质基础,能协调人类生命所必需的生理活动。大脑的协调作用使人体能适应外界环境的各种变化。

当环境刺激传入大脑后,大脑会对这些刺激进行认识和分析,并产生相应的情绪反应和生理变化。情绪反应和生理变化相互作用的结果,又作为新的刺激使中枢神经系统发生新的变化。如,当人体受到意外危险刺激后,首先经过大脑的认识、分析和判断,引起恐惧反应,出现血压升高、呼吸加快、心跳次数增多、消化停滞等生理反应。而这种恐惧反应和血压、呼吸等生理反应,又作为新的刺激,反过来影响大脑。如果这个过程持续过久或过于强烈,就会使身体各器官、各系统的功能发生变化,最终导致疾病。除了大脑的作用以外,还有皮质下中枢,主要是下丘脑,它能调节自主神经系统、内脏的功能及行为等。

现代人面临的心理压力明显增加,过重的心理压力可引起神经系统、消化系统、呼吸系统、循环系统、运动系统、内分泌系统和皮肤等的不良生理表现,直接威胁人的正常生活和健康状态。

现代医学已充分证实,许多有害的心理因素是各种躯体疾病和精神疾患的致病原因,相反,良好的心理因素和积极的心理状态可以对疾病的治疗和康复起重要的作用。如:当残疾人和病人的一些生理功能异常或障碍时,如肌肉痉挛、活动不便或语言障碍等可以使用心理治疗方法加以控制。

第二节 运动学基础

人体运动学研究以牛顿力学为基础。运动学研究物体的运动规律,而不深究这些规律形成的原因。人体的运动有别于非生命体,在研究人体运动时,应充分考虑人的生命特征。

一、运动学基本概念

(一) 物理量

人们把描写物理事物的量叫做物理量(physical quantity),物理事物不同,所采用的物理量也不同,我们经常遇到的物理量有三种。不同的物理量服从不同的运算规则。

1. 标量(scalar) 只有大小没有方向的物理量叫标量。温度、时间、能量、质量等物理量是标量。

2. 矢量(vector) 有大小并有一个方向的物理量叫矢量。速度、加速度和力等是矢量。

3. 张量(tensor) 有大小并不止一个方向的物理量叫张量。描写材料内部力学性质的应力和应变是二阶张量。

(二) 运动学描写常见的物理量

1. 时间量 时刻是时间轴上的点,用于运动的开始、结束或运动过程中的瞬间描写,常用符号 t 表示;时间间隔是物体运动持续时间的量度,常用 Δt 表示。

2. 空间量 位置矢量 \vec{r} 是一组标志物体位置的坐标;位移 $\Delta \vec{r}$ 是一组标志物体位置移动的坐标差值;路程 Δs 是描写物体运动所走过路程的长度;轨迹是质点运动的路径。速度是位置矢量的时间变化率,速度的大小叫做速率,用 v 表示。加速度是速度的时间变化率,包括大小和方向的改变。当物体沿曲线轨道运动时,常将加速度 \mathbf{a} 在物体所在点处分解成圆弧曲率半径上的投影,叫法向加速度 \mathbf{a}_n ,它只改变速度的方向;和在轨道切线方向上的投影,叫切向加速度 \mathbf{a}_t ,它只改变速度的大小。

二、运动学描写的基本知识

(一) 模型

在进行物质运动描写时,人们常常依据物质的性质把它们分成质点、刚体、连续介质等不同的力学模型。这是人们描写运动等的一种方法。

1. 质点 只有质量但没有体积的点叫做质点。当物体的大小、形状和内部结构对所研究的问题没有显著影响时,就可以将其简化为质点。

2. 刚体 是绝对不可变形的物体。当物体变形对所研究的问题没有显著影响时,就可以将其简化为刚体。

3. 连续介质 指由充满特定空间区域的质点构成的理想物体,是现实物质的一种理想模式。

(二) 参考系

描写一个物体的运动必须选定另一个物体作为参考,这个被选定的参考物体就叫做参考系(reference system)。相对于地球静止或相对于地球作匀速直线运动的参考系称惯性参考系。相对于地球作变速运动的参考系称非惯性参考系。在描述人体局部运动状态时,如

描述人游泳的划水动作时,就采用建立在人体的肩关节处的非惯性参考系。同一物体采用不同的参考系描写时,其结果一般不同,这叫做运动描写的相对性。

(三) 坐标系

为定量地描写物体运动的位置以及位置随时间的变化,在所选定的参考系中选择的标度框架,叫做坐标系,通常,选定坐标系中的一点作为坐标原点。

(四) 直角坐标系

人们用得最多的是直角坐标系,它的三条坐标轴(X轴、Y轴、Z轴)相互垂直。除直角坐标系外,根据描写的方便,还可以选择其他坐标系,如极坐标系,柱坐标系或球面坐标系等。

(五) 运动分类

力学中经常按物体的运动特点来区分他们的运动类别。常见的运动类别如下所述。

按照质点运动的轨迹,将人体简化为质点,分为直线运动和曲线运动。质点的运动轨迹为直线的运动叫直线运动,否则为曲线运动。在曲线运动中,物体的运动方向始终在变化。圆周运动和斜抛运动是典型的曲线运动。

按照机械运动的形式,将人体简化为刚体,分为平动、转动和振动。

运动过程中无论物体的运动轨迹是直线还是曲线,如果物体上各点的位移、速度和加速度都相同,这样的运动就叫做平动。物体平动时,可以把他简化成质点来处理。运动过程中,物体上各点都围绕同一直线作圆周运动的运动转动(图 1-2-1)。人体的肢体运动是绕关节轴的转动。物体以一个点为中心在一定范围内所做的往复运动叫做振动,振动具有周期性。通常人体的运动都是复合运动,其中可能包括平动、转动和振动。研究中通常把复合运动分解为单独的平动和转动等,这可以使问题大大简化。

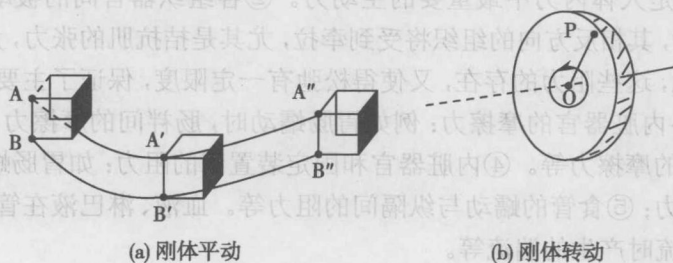


图 1-2-1 刚体的平动与转动

第三节 动力学基础

不同形式的物质运动服从不同的运动规律。物质的机械运动包括平动、转动和变形等,它们的运动都服从力学规律。力学运动规律的核心是牛顿运动定律。

一、经典力学基础

(一) 动力学相关概念

1. 动力学 研究物体运动与受力的关系。人体受力分为动力和制动力。如果力的方向与人体运动(速度)方向相同,就叫人体动力,反之则为人体制动力。

2. 力(force) 力是物体之间相互作用的表现。若把人体看作力学系统,则人体受力可分为内力和外力。两者共同作用,产生适应、协调和平衡。

(1) 外力:外力是外界物体作用于人体的力。人体在运动中所受到的主要外力有:①重力(gravitational force):是地球对人体的引力,也是人体活动时必须克服的负荷。人体重力的作用方向竖直向下,大小与人体及负荷的质量相等。②支撑反作用力:人体对支撑点施加作用力时,支撑点对人体的反作用力称支撑反作用力。当人体在支撑点上静止不动时,人体所受到的支撑反作用力称静支撑反作用力,其大小与人体体重相同,方向相反。人体在支撑点上做加速运动时所受到的支撑反作用力,称为动支撑反作用力,此时的支撑反作用力大于人体体重,例如加速起蹲。③摩擦力:是人体或肢体在地面或器械上运动或有运动趋势时,所受到的阻碍运动的力。其大小因人体或肢体重量及地面或器械表面的粗糙程度而异,方向与运动方向相反。人体所受摩擦力分为静摩擦力、滑动摩擦力和滚动摩擦力,对人体而言,前两种摩擦力更有意义。④流体阻力:是人体在流体中运动时所承受的阻力,其大小与流体密度、运动速度和人体的正面面积成正比。在水中运动的阻力比在空气中运动受到的阻力大,但因为水的浮力作用又抵消了人的大部分体重,故人体在水中运动比较省力。

各种外力经常被用来作为康复训练/治疗的负荷,负荷选择要与肢体中的肌群及其收缩强度相适应,以获得理想的训练效果,这是增强肌力训练的方法学基础。

(2) 内力:内力是人体内部各组织器官间相互作用的力。各种内力相互适应,以维持最佳活动,同时也不断和外力相抗衡以适应人体生活的需要。人体运动中出现的主要内力有:①肌肉拉力通过其在骨骼上的附着点施加作用以维持人体姿势,协调人体内各部分、各环节间的相对运动,是人体内力中最重要的主动力。②各组织器官间的被动阻力:当肢体做屈曲或伸展运动时,其相反方向的组织将受到牵拉,尤其是拮抗肌的张力,为保证运动完成,必须事先使其松弛,这些阻力的存在,又使得松弛有一定限度,保证了主要运动方向运动的适时和适度。③各内脏器官的摩擦力:例如胃肠蠕动时,肠祥间的摩擦力,心脏冲动时,与肺、纵隔和胸廓间的摩擦力等。④内脏器官和固定装置间的阻力:如胃肠蠕动与腹膜、肠系膜、大血管间的阻力;⑤食管的蠕动与纵隔间的阻力等。血液、淋巴液在管道内流动时产生的流动阻力,在分流时产生的湍流等。

(二) 牛顿运动定律

1. 牛顿第一定律 任何物体都保持其静止或直线运动状态,除非有外力作用使其状态改变。

2. 牛顿第二定律 物体所获得的加速度的大小与物体所受合外力的大小成正比,与物体的质量成反比,加速度的方向与合外力的方向一致。即:

$$F=ma$$

3. 牛顿第三定律 当物体 A 对物体 B 施加作用力 F 时,物体 B 也必定同时对物体 A 施加一个反作用力 F' ,两者大小相等,方向相反,作用在同一条直线上。即:

$$F'=-F$$

实验证明,牛顿定律只在惯性参考系(inertial system)中成立。凡是不能使牛顿定律成立的参考系都叫做非惯性参考系。在实际研究中,到底应该如何选择参考系,要具体问题具体分析。

(三) 功与能

1. 功 (work) 与功率 (power)

功定义为：作用力与受力点沿力的方向上的位移的乘积。

功率：是描述力对物体做功快慢的物理量，它等于力在单位时间内对物体所做的功。

在国际单位制中，功的单位为焦耳 (J)，功率的单位是瓦特 (W)。

2. 动能 (kinetic energy) $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ 叫做物体的动能。其单位与功的单位相同。

3. 动能定理 设物体在初态的动能为 E_{ka} ，在末态的动能为 E_{kb} ，则末态的动能与初态动能的差等于物体所做的功，叫做动能定理：其意义为在始末两态之间，合外力对物体所做的功等于物体动能的改变量。

4. 保守力 (conservative force) 做功与路径无关，非保守力做功与路径有关。保守力做功只与物体所在的始末位置有关，与从初始位置到达末态位置的路径选择无关。重力、弹性力、万有引力、静电力和分子力都是保守力，摩擦力是非保守力。

5. 势能 (potential energy) 用 E_p 表示，不同的保守力有不同的势能，重力的势能为 $E_{pG} = mgh$ ，其中 m 是物体的质量， g 是重力加速度， h 是物体距离参考面的高度；弹性力的势能为 $E_{pk} = \frac{1}{2}kx^2$ ，其中 k 是物体的弹性系数， x 是物体离开平衡位置的距离。

势能是由系统内物体之间的相对位置决定的，因此，势能是整个物体系统所共有的，不能把它看作某个物体独有。要特别注意，势能的数值与参考点的选取有关。势能是标量，其单位与动能相同。

6. 机械能 是物体动能与势能之和。

7. 功能原理 如果整个物体系统既受到系统外部力的作用，系统内部的物体之间也有相互作用力，系统内部的力分为保守力和非保守力，则系统的外力做功与系统内部非保守力做功的总和等于系统总的机械能的变化。

8. 机械能守恒定律 对于一个物理系统，如果系统的外力做功等于零，并且系统内部没有非保守力做功，则系统的总机械能将不随系统状态的变化而改变。这就是机械能守恒定律。

(四) 动量与冲量

1. 动量 物体质量与运动速度的乘积叫做动量 (momentum)。动量是物体运动惯性和运动做功能力的描写。

2. 冲量 力对物体作用在确定时间内的积累结果叫做冲量 (impulse)。

3. 动量定理 物体在某段时间内所受合外力的冲量等于它在这段时间内动量的变化量，叫动量定理。

利用动量定理可以为临床上的脑碰撞损伤程度的准确诊断提供可靠的力学依据。

4. 动量守恒定律 如果物体系统不受外力或所受合外力等于零，则物体系统的总动量保持不变。

人体是由多环节组成的生物系统，各个环节动量的矢量和等于人体的总动量。当人体整体所受外力为零时，人体内力可以改变各个环节的相对位置，使环节的动量发生相互传递，但是不能改变人体的总动量。在康复训练中，可以考虑利用这一定律，制动某环节以便

提高邻近的需要加强训练环节的运动能力。

二、转动力学

刚体转动(rotation)是指刚体上的各点都绕同一条直线作圆周运动,这条直线叫做转动轴(rotation axis)。转动轴固定不动的转动叫做定轴转动(fixed-axis rotation)。

(一) 转动的运动学和动力学参量

1. 角位移(angular displacement) 人体整体或环节围绕某个轴转动时转过的角度叫角位移。

2. 角速度(angular velocity) 人体/肢体在单位时间内转过的角度叫角速度,它是描述人体或器械转动快慢的物理量。

3. 角加速度(angular acceleration) 指单位时间内角速度的变化量,它是描写刚体转动角速度变化快慢的物理量。

4. 转动惯量 是描述物体转动时保持原来转动状态能力的物理量。转动惯量的大小不仅与物体的质量有关,还与质量的分布及转轴的位置有关。质量愈大、质量分布离轴愈远,转动惯量也就愈大。转动惯量越大,转动状态愈不容易改变。

理论上,对于质量为 m 的质点,如果它离转轴的垂直距离为 r ,那么,这个质点对该转轴的转动惯量为 $I=mr^2$ 。

一般物体可视为质点的结合,其转动惯量就等于各质点对转轴转动惯量的总和, $I=\sum m_i r_i^2$ 。

对于一般的刚体,如果转动轴确定,转动惯量也就不会改变,对于形状规则的物体,可通过积分计算转动惯量的大小。

在研究人体转动问题时,转动惯量是一个必测的基本参数。由于人体并非规则的几何体,很难列出相对于某转动轴的数学表达式。此外,人体虽然是连续分布的介质,但质量分布不均匀(骨、肌肉、脏器的密度不等),直接按定义应用积分计算人体相对于某转动轴的转动惯量是相当困难的。为了抓住本质性的因素,而撇开一些影响不大的次要因素,对研究对象进行简化,采用了人体力学模型的方法,即:把人体简化为多个刚体(环节)通过铰链(关节)连结起来的刚体系统,这是一种普遍采用的物理模型。1964年汉纳范(Hanavan)建立了由15部分刚体部件组成的人体力学模型(图1-3-1)。即:1)头、2)上躯干、3)下躯干、4)右手、5)左手、6)右上臂、7)左上臂、8)右前臂、9)左前臂、10)右大腿、11)左大腿、12)右小腿、13)左小腿、14)右足、15)左足。假设各刚体部件具有理想化几何外形(1为椭球;4、5为球;2、3为椭圆柱;其余为圆锥台)和均匀分布质量。

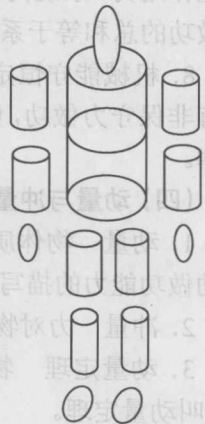


图 1-3-1 汉纳范人体模型

然后,根据这些特殊形状的刚体,计算各部件的转动惯量,再求和,即:

$$I=I_1+I_2+\cdots+I_{15}$$

人体运动时,随着姿势的变化转动惯量也会发生变化,因此对一种姿势算出的转动惯量只说明一瞬间的情况。这种可变性可以使人根据训练目的,调节姿势以改变转动惯量,达到自我控制的目的。