

内容提要

本教材为经全国高等学校体育教学指导委员会审定通过的全国普通高等学校体育专业选修课程系列教材。主要包括绪论,人体运动时骨、关节和肌肉的生物力学,人体运动的生物力学特征,人体运动中的流体力学,人体运动动作的生物力学以及运动生物力学的测量与评价等内容。阐述了运动生物力学的学科概念、任务、发展趋势,以及各种运动动作的生物力学特征、各种生物力学参数,介绍了运动生物力学的测量与评价,具有较高的理论性和实用性,可作为普通高等学校体育专业学生选修课程教材使用。

全国普通高等学校体育专业选修课程系列教材

编写委员会

主任委员

季克异 教育部体育卫生与艺术教育司体育处处长、全国高等学校体育教学指导委员会副主任委员、研究员

黄汉升 福建师范大学副校长、教授、博士生导师、全国高等学校体育教学指导委员会技术学科组组长

季浏 华东师范大学体育科学学院教授、博士生导师、全国高等学校体育教学指导委员会理论学科组组长

邓树勋 华南师范大学体育学院教授、博士生导师、全国高等学校体育教学指导委员会顾问

孙民治 首都体育学院教授、博士生导师、全国高等学校体育教学指导委员会顾问

副主任委员

汤志林 广西师范大学出版社副总编辑、副编审

王家宏 苏州大学体育学院教授、全国高等学校体育教学指导委员会技术学科组副组长

李宗浩 天津体育学院教授、全国高等学校体育教学指导委员会理论学科组副组长

张蕴琨 南京体育学院教务处处长、教授、全国高等学校体育教学指导委员会理论学科组副组长

陈仲芳 广西师范大学出版社体育图书编辑室主任、编审

梁柱平 广西师范大学体育学院教授、全国高等学校体育教学指导委员会委员、国际裁判员

夏思永 西南师范大学体育学院教授、全国高等学校体育教学指导委员会委员

范纯 广西教育厅体育卫生与艺术教育处处长

秘书长

李英贤 广西师范大学体育学院教授、广西师范大学出版社特聘编辑

委员(以姓氏笔画为序)

于明涛 毛振明 王凯珍 王家宏 王润平 王鸿翔 王德伟

邓树勋 左铁儿 刘瑶 刘涛 刘晶 刘旭东 刘举科 孙民治

曲天敏 汤志林 纪仲秋 许瑞勋 岑汉康 张钧 张强 张蕴琨

李永智 李宗浩 李建军 李英贤 李金龙 杨瑶 杨鑫 杨铁黎

杨雪芹 肖洁 苏肖晴 陆元兆 陈仲芳 陈国耀 范纯 周兵

季浏 季克异 金建秋 胡小明 荣湘江 赵斌 夏云建 夏思永

徐细根 殷玲 袁镇澜 常智 曹 梁柱平 黄汉升 黄玉山

童昭岗 谢清 潘绍伟

编写说明

为实施教育部于 2002 年 1 月公布的《全国普通高等学校体育教育本科专业课程方案》(以下简称《课程方案》),教育部体育卫生与艺术教育司和全国高等学校体育教学指导委员会联合全国体育界中对高等学校体育教学、课程改革有研究的专家、学者,组建“全国普通高等学校体育专业选修课程系列教材编写委员会”。该委员会根据《课程方案》的要求与精神,组织编写了这套“全国普通高等学校体育专业选修课程系列教材”。

这套教材共有 10 种,为了方便读者更好地了解该系列教材的特点和各高等学校有针对性地选用,我们根据体育学科选修课程开设的需要和教学特点,对这套教材进行了有机组合,将一些目标相近、“多层次、可叠加”的教材归并为一个系列,共计 10 个系列。各系列所涵盖的教材及其主要特点如下:

系列一 体育教学与训练系列 包括《体育课程与教学论》、《体育学习原理》、《中学体育新课程教材教法》、《学校体育发展史》、《体育教学设计》、《运动选材学》、《运动训练学》、《运动竞赛学》10 种。该系列教材主要为适应高等学校体育课程发展的需要,从不同侧面反映当前高等学校体育教学与训练的研究成果与发展,结合中学《体育与健康》课程标准教材的内容与特点,展示当代体育教学理念与教学方法的新要求和新需要。

系列二 体育锻炼手段与方法系列 包括《体育舞蹈》、《棒球》

手球》、《乒乓球》、《羽毛球》、《游泳》、《体育游戏》、《举重 健美运动》、《散打 摔跤》、《滑冰 轮滑》、《民族体育》、《休闲体育》、《软式排球 气排球 沙滩排球》愿种。该系列教材大多是《课程方案》里第一选修方向规划的课程内容,属于分方向选修课程的重点,实践性强,是体育专业学生应掌握的一些主要运动项目。

系列三摇运动人体科学系列 摇包括《体育康复学》、《保健推拿》、《运动损伤与预防》、《学校卫生学》、《运动生物力学》、《遗传学基础》远种。该系列教材从不同角度介绍运动人体科学知识、保健卫生知识及其相关学科最新科研成果在体育运动训练和学校体育教育中的应用,具有较强的理论性和实践性。

系列四摇社会体育学系列摇包括《体育经济学》、《体育管理学》、《体育法学》、《社会体育概论》、《社区体育指导》、《体育市场与营销》、《奥林匹克运动》、《体育摄影 体育美学》愿种。该系列教材从不同层面阐述体育与社会、竞技体育与市场规律等方面的知识,对了解体育运动的文化价值与社会内涵、市场价值与市场运作以及体育摄影与运动美学等都有较好的指导作用。

系列五摇体育工作者手册摇包括《体育绘图》、《体育测量与评价》、《体育多媒体课件制作与应用》、《体育场地与设施》、《学校体育器材制作与维修》缘种。该系列教材根据体育教学、训练和体育锻炼的需要,分门别类地介绍与之相关的知识、技能和要求,是体育专业学生和体育教育工作者在学习、工作中常用的资料,起到体育教育工具书的作用。

系列六摇健康知识系列 摇包括《运动营养学》、《运动处方理论与应用》、《健身锻炼方法与评定》、《体育锻炼与心理健康》、《安全防护与急救处理》缘种。该系列教材以促进全民健康为出发点,通过介绍运动与营养、运动与健康、运动与安全等方面的知识,指导人们形成健康、安全、科学的生活方式与锻炼习惯。因此,该系列教材不但适用于体育专业的学生,而且适用于一般大学生和普通人群,可作为跨专业选修课程教材。

在本套教材的编写中,我们坚持“守正出新、突出特色、拓宽口径、整体优化”和“编审分离”的原则,注重对健康知识以及其与相关交叉学科方面教材的设计,为学校选修课程设置扩大自由度。在教材结构与内容上突出“灵活性、先进性、扩展性、专题性、小型化”的特点,力求全面地反映当前课程改革、教学改革和体育科学的新发展,注意吸收国内外优秀教材的长处,精心设计编写体例,

加大实用案例引用,并附有相关文献、思考与练习等,部分教材还配了教学附件(如光盘),从多方面强化学生学习的主体性,为体育教育专业更好地实现培养复合型人才的总目标做了一些实质性的探索。

本套教材的编委会由来自全国 200 多所高等学校 1500 余位教师组成。其中有 200 余人具有教授职称、150 余人具有博士学位、150 余人担任全国高等学校体育教学指导委员会委员。这支高水平复合型的作者队伍,是这套教材能够实现多品种、高质量的最大优势。

《运动生物力学》属于本套教材“系列三摇运动人体科学系列”。

本教材由纪仲秋担任主编。参与编写的人员及具体分工如下:纪仲秋(北京师范大学)负责绪论及第三、四、五章的编写;孟宪林(哈尔滨师范大学)负责第一、二章的编写。

本套教材的出版,得到了国家教育部体育卫生与艺术教育司和全国高等学校体育教学指导委员会的关心和全程指导、广西壮族自治区教育厅体育卫生与艺术教育处的关心和支持、广西师范大学领导的高度重视与大力支持、广西师范大学体育学院的积极协助。在此,我们向所有参与、关心、支持和协助本套教材编写、出版的单位、领导和教师表示深深的谢意。

本套教材的编写与出版是对高等学校体育专业体育教学改革、教材建设的探索与尝试,不妥之处恭请各位读者批评指正。

全国普通高等学校体育专业选修课程系列教材编写委员会



Contents

目 录

绪论	员
第一章 人体运动时骨、关节和肌肉的生物力学	
.....	苑
第一节 人体运动器系的材料力学基础	苑
第二节 骨骼的生物力学	苑
第三节 关节的生物力学	苑
第四节 肌肉的生物力学	愿
第二章 人体运动的生物力学特征	源
第一节 人体的惯性特征	源
第二节 人体运动的时空特征	缘
第三节 人体运动的力学特征	缘
第四节 人体运动的能量特征	愿
第三章 人体运动中的流体力学	愿
第一节 流体对人体运动的作用	愿
第二节 空气对器械运动的作用	怨
第四章 人体运动动作的生物力学	员



第一节	走和跑的生物力学分析	1
第二节	跳的生物力学分析	2
第三节	投掷的生物力学分析	3
第四节	滑冰和滑雪的生物力学分析	4
第五节	舞蹈的生物力学分析	5
第五章	运动生物力学的测量与评价	6
第一节	人体质心的测定	7
第二节	柔韧性和人体功率的测定	8
第三节	人体运动的能量测定	9
参考文献		10

绪论

- 本章提要 本章重点阐述了运动生物力学的概念、学科任务、发展简史和发展趋势。
- 重要概念 运动生物力学研究线索

人体的运动系统是由骨、关节和肌肉组成的,其主要功能是使人体运动。因此,研究人体运动的力学规律,首先要认识人体运动器系各组成部分的生物力学特征。

一、研究运动生物力学的目的及其定义

体育是把身体运动作为手段来进行的,而运动生物力学则是以研究体育运动中人体机械运动的规律为目的,最终达到身体更敏捷,力量更大,运动更具有良好的效率以及身体健美的效果。从字义分析可知,“运动”是指体育运动的知識,“生物力学”则包括身体构造、机能及力学的知識。现在我们把运动生物力学定义为:研究体育运动中人体机械运动规律的学科。它以力学、解剖学、生理学和各专项技术理论为基础,研究人体运动器系的力学特征和体育运动中动作技术的一般规律,揭示其内在联系并直接为体育运动实践服务。



二、运动生物力学的应用领域及其任务

运动生物力学的应用领域

目前的应用领域有 ① 体育设备、运动器械的开发。如对冬季奥运会中速滑冰刀的研究,就是对体育设备进行的最新研究之一,运动员使用了新的冰刀在比赛中滑得更快。② 作业环境的优化。如学习中使用的椅子的高低、楼梯台阶的高低等。③ 对体育比赛和大众健身的指导。步态分析对人体运动中的健身及在比赛中的应用是必不可少的。④ 康复中对运动员损伤的治疗。

运动生物力学的任务

任务包括 ① 研究运动员身体结构和机能的生物力学特征。② 研究动作技术,确立动作技术原理,建立动作技术模式。③ 寻求最佳技术方案。④ 探索预防运动创伤的最佳方案。如日本为申办冬季奥运会,由运动生物力学学会进行了比赛现场运动损伤预防的研究,为冬季奥运会的成功申办创造了条件。

三、运动生物力学研究的线索及焦点

研究线索包括 ① 运动方法的不同、技术的精巧、练习前后的比较及数量化的整理。② 以快慢、强弱、正误、优劣、效率的高低等运动目的为参考,对数据的关系进行分析。③ 参考已有的知识,考察科学定律在运动中的应用。④ 对新见解进行特写,并应用于运动指导和新的运动方法的探索。

目前研究的热点主要是对动作学(姿势及运动力学)中的姿势及运动力学(姿势及运动力学)中力和能量的研究。在奥运会比赛中,主要是对运动员的动作进行研究和对比赛前运动损伤的预防以及在比赛中如何发挥运动员的最大能力的研究。

四、运动生物力学的发展史和发展趋势

(一) 运动生物力学的发展史

16世纪末,意大利科学家列·达·芬奇(Leonardo da Vinci)开始用



解剖学和力学的观点分析人体的姿势和运动。他对人体步态的研究和近代身体运动学的研究大致相似。他叙述了站立、上坡和下坡、坐姿、起立和跳跃时身体的力学原理,并提出“一切能够运动的活体都遵循力学规律而运动”的观点。进一步研究人和动物运动的是意大利数学家和天文学家阿·鲍列里(1864—1934),他在1902年发表的《论动物的运动》是迄今最早的运动生物力学著作。他比较系统地提出了肌肉收缩符合力学原理的观点,并设计了利用杠杆原理测量人体质心的实验方案。

19世纪末,法国生理学家韦伯尔兄弟(1861—1931和1863—1931)用实验方法测量了人体基本位移运动的时间和空间特征。他在研究走的实验中,测量了躯干左倾斜和竖直方向的运动,得出提高走速必须缩短双支撑时间的结论。运动生物力学史上一项特别重要的事件是1905年美国摄影师伊·梅布里奇(1866—1929)用带连续电子开关的圆架照相机,记录了一匹快速奔跑中的马的运动过程,其后又拍摄了人的走、跑等动作的连续照片。1906年梅布里奇发表了《运动中的人体图像集》(1906,芝加哥),从而奠定了运动生物力学摄影、摄像测量和分析的方法学基础。为了纪念他对生物力学的贡献,从1955年第十一届国际生物力学大会开始,设立了“梅布里奇杰出贡献奖”,以表彰那些在生物力学基础理论、研究方法和应用研究领域作出突出贡献的学者。

20世纪初,德国学者威·布拉温(1861—1931)和奥·菲舍尔(1861—1931)对尸体进行了测量,获得了人体环节的质量和环节的质心等惯性参数,建立了至今仍具应用价值的德国人体的质量分布模型。此后,日本的松井秀治、美国的钱德勒和苏联的扎齐奥尔斯基等相继测量并建立了日本(松井模型)、美国(钱德勒模型)和苏联(扎齐奥尔斯基模型)人体的质量分布模型。我国学者郑秀瑗等采用摄影技术测量了中国人体的质量参数。

苏联学者谢切诺夫和列斯加夫特主张将人体形态结构的功能与体育动作结合起来进行研究,于1924年出版了《体育练习生物力学教程》这一重要著作。他们被称为苏联现代运动生物力学的奠基人。苏联运动生物力学创始人伯恩斯坦从20世纪30年代开始用神经控制论研究人体运动,他的著作



《论动作的结构》反映了系统论、控制论和信息论的重要观点。他关于人体动作系统和运动行为结构的思想原则以及运动感觉反馈修正的理论,对运动生物力学的学科发展具有重要的意义。

英国的希尔(1879-1957)取青蛙的缝匠肌为试样,通过测量肌肉在缩短过程中的肌张力、肌收缩速度、肌肉产生的热量和维持牵缩状态所需的热量,按热力学第一定律建立了与实验结果相当一致的希尔方程。1954年他因此而获得了诺贝尔生理学或医学奖。

随着科学技术的进步与体育科学的发展,运动生物力学的应用研究不断深入,学术交流愈加频繁。1956年在瑞士苏黎世召开了第一届国际生物力学讨论会,此后每隔两年举办一次。1958年在美国宾夕法尼亚大学举办第四届国际生物力学会议时,正式成立了国际生物力学学会(International Society of Biomechanics, 简称ISB)。1961年在日本名古屋召开第八届国际生物力学会议时,我国第一次派代表参加了会议。1964年成立了国际运动生物力学学会(International Society of Sports Biomechanics, 简称ISSB),此后每年召开一次学术会议,极大地促进了运动生物力学学科的发展。

运动生物力学在我国是一门年轻的学科,中华人民共和国成立之前虽开设过《人体机动学》和《运动学》,但学科建设几乎没有进展。1956年,苏联的尼·米贝柯夫曾被邀请在北京体育学院讲授《运动解剖学》和《动力解剖学》,其中包括人体质心的计算与测量和运动技术力学分析等生物力学的内容。1958年,我国引进了苏联顿斯柯依所著的《运动生物力学》教材,同年在北京体育学院举办了第一期运动生物力学教师进修班。此后,我国多数体育院、系相继开设了运动生物力学课程,并建立了专门的运动生物力学研究机构,还先后邀请了美国、德国、日本等国的运动生物力学专家来华讲学,同时还有相当数量的学者赴国外留学、进修和合作研究。

1956年,我国成立了中国体育科学学会,同时成立了中国运动生物力学学会。中国体育科学学会每四年召开一届大会,中国运动生物力学学会每两年召开一届学术研讨会。1964年和1965年中国运动生物力学学会以集体会员的名义分别加入了国际生物力学学会和国际运动生物力学学会,从此,我国运动生物力学学者与国际学术机构建立了联系,并与各国学者加强



了学术交流。1985年第六届全国运动会期间,由多人组成的运动生物力学研究队伍对田径、举重、技巧、跳水等项目的决赛进行了现场测试。其中,平面摄影、摄像员人次,立体摄影、摄像人次。影像解析数据和图片大多在圈内公布,获得了运动员和教练员的好评。1985年,在南京召开了第九届全国运动生物力学会议。1986年,在河北举办了第十届全国运动生物力学学术交流大会。1986年远月,首次在我国香港中文大学召开了第十八届国际运动生物力学会议。

(二) 运动生物力学的发展趋势

随着运动生物力学测试手段和分析方法的进步,运动生物力学将在基础研究、应用研究和方法研究上获得全面的进展。

● 基础研究

基础研究包括:研究人体基本体育动作的生物力学原理,如走、跑、跳、踢、打、投、屈、伸、拉等动作的生物力学;研究人体运动系统的生物力学原理,如脊柱的生物力学、关节的运动学和动力学、关节受力的动态分析及关节结构与功能的数学、力学模型等;人体运动的力能学,如肌肉收缩的张力、速度、功、功率、效率和热力学、肌电与肌力的评价等;生物力学在体能、康复诊断和评价中的研究,如研究人体与外界、人体内部组织之间、器官之间的相互作用,揭示运动损伤和康复的力学依据;离体或在体条件下人体组织、器官和系统等材料的力学结构与力学性质的研究,生物材料的本构方程;神经、肌肉对人体运动的控制、反馈、修正和运动素质的生物力学研究等。

● 应用研究

应用研究包括:各项运动技术的动作结构与运动功能关系的生物力学研究;优秀运动员各项技术动作的生物力学诊断、评价与训练手段的研究;运动技术的优化和最佳化研究;运动过程中各工作肌群协作与协调关系的研究;运动器官和系统损伤的生物力学机制及物理康复手段的研究;人体形态与运动功能生物力学的特征指标与运动选材的研究;竞技运动器械、训练辅助器械和健身康体器械的开发研制等。

● 方法与测量技术的研究



方法与测量技术的研究是运动生物力学学科发展的重要推动力。运动生物力学的研究方法主要沿用理论物理学、实验物理学的研究方法,并结合生物学、电子技术、计算机技术和系统科学的研究方法。比较成熟和趋于成熟的方法和技术有 运动图像高速摄影、摄像的采集与分析技术,人体运动动力学参数的采集与分析技术,人体肌电、肌力(矩)的测量与分析技术,人体惯性参数的测量方法与技术,人体运动的动力学理论分析方法与计算机仿真技术,人体运动的能量学研究方法,三维摄影、摄像与多机同步的测量方法与分析技术,人体运动力学参数的遥测技术,测量参数数字化过程的分析方法与计算机辅助测量技术等。

思考与练习

1. 简述运动生物力学的学科定义。

2. 简述运动生物力学的学科任务。

3. 简述运动生物力学的应用。

4. 简述我国运动生物力学的发展历程。

第一章摇人体运动时骨、关节和肌肉的生物力学

- 本章提要摇本章简要介绍了人体生物材料的组成及其力学性质 ,并在此基础上 ,系统地阐述了骨的力学性质及其影响因素、关节的表面活动及力学表现以及肌肉结构和收缩的力学特征。学习人体运动器系的生物力学的研究方法。
- 重要概念摇应力摇应变摇松弛摇拉伸摇肌电图

摇第一节摇人体运动器系的材料力学基础

摇摇人体运动系统由骨、关节和肌肉组成 ,其主要功能是使人体运动。因此 ,研究人体运动的力学规律 ,首先要认识人体运动器系各组成部分的生物力学特征。

一、生物材料的组成

生物材料的物质组成包括有机物(糖、脂肪和蛋白质)和无机物(水、钙



盐等)。从力学角度看,它们在人体内的位置基本上是固定的,构成人体的支持、保护部分,具有运动功能。有机材料在构成上比较复杂,下面首先进行介绍。

生物有机材料主要由糖、脂肪和蛋白质构成,它们统称为高聚合物材料。这类材料的一个重要特点是:它的力学性质不仅取决于构成单元的化学成分,还取决于分子的排列方式。尽管它们的力学性质十分复杂,但因其和橡胶、塑料的力学性能有很多的相似之处,所以在一定程度上可以借用橡胶、塑料的力学分析的结论,还可用橡胶和塑料材料代替人体有机材料来进行运动器系的模型试验。下面介绍两类重要的生物有机材料。

(一) 蛋白质聚合物

这种材料是由很多的氨基酸分子连接成长链组成的,是构成骨胶原(骨中主要的有机成分)的主要材料,也是肌肉和各种软组织的重要成分。根据其分子组成情况大致可分为三种:

● 圆爰分子不交联的无定形聚合物(黏塑性材料)

这种材料的分子呈不规则排列,分子间没有联系,可以相互滑动(图 圆爰)。在外力的作用下,这种材料可以拉长或不规则地扭曲,当除去外力后不能恢复到原有的形状。它在很大程度上具有黏性液体或黏性固体的性质。材料对外力的抵抗能力不仅取决于形变量,而且取决于变形(应变)速度。

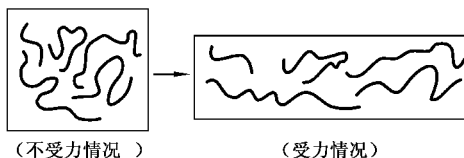


图 圆爰 圆爰分子不交联的无定形蛋白质
摇摇摇摇聚合物的变形

● 圆爰分子交联的无定形聚合物(弹性材料)

这种材料的分子之间在某些部位相互交联。在无外力的情况下,材料的分子处于卷曲状态,受力时分子沿力的方向伸展(图 圆爰)。由于分子间有交联、相互间不能滑动,因此在力消失以后又恢复到原来

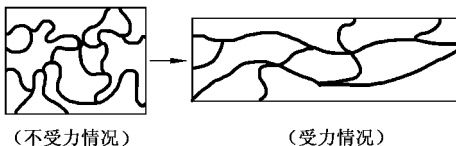


图 圆爰 圆爰分子交联的无定形蛋白质
摇摇摇摇聚合物的变形情况



无变形时的状态。这类材料的典型代表是节肢弹性蛋白,它因出现于节肢动物体内而得名。如跳蚤的腿部就主要由这类材料组成。它构成了一个弹射能力极强的理想弹射机构,使跳蚤在水平和垂直方向跳出的距离分别超过了体长的 150 倍和 100 倍。蜻蜓身上的节肢蛋白可拉伸到原来长度的 10 倍,在保持几天后放松时,它仍可恢复到原来的长度而无残余变形。节肢蛋白的弹性性能与橡胶相似,但优于橡胶。

● 弹性纤维

它是略有弯屈的高分子以定向排列形式组成的材料。在受力情况下这些分子可以被拉直,但拉伸量很小(图 1-1-10),所以这类材料一般不易延伸。

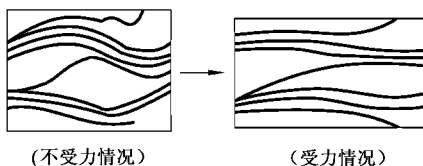


图 1-1-10 分子定向排列(纤维)材料的变形

(二) 多糖纤维

它是由无数的糖单元长链组成的。人体生物材料往往是由几种材料或由一种材料(如纤维)按不同方向分层排列而构成的复合材料。这种复合材料可构成合理的承力结构。如主要以纵向纤维构成的骨板具有较高的抗拉强度,而环向纤维的作用是增加骨的抗压稳定性。复合材料的另一个优点是具有较高的抗断裂性能。因为生物高强度纤维受力的组织是多层结构,各层间由强度较低的胶质连接,所以当某一层的裂纹扩展到层间时,即往往改变方向沿强度较低的连接层发展(图 1-1-11),而不会向其他层穿透,避免了整个结构的断裂。

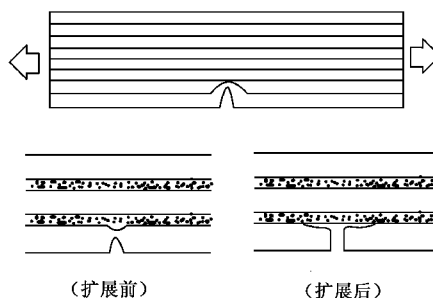


图 1-1-11 叠层复合材料中裂纹的扩散

二、生物材料的力学性质

(一) 应力与应变

在日常生活和运动中,人体运动器官(如股骨)每时每刻都要受到外界物体和环境力的作用,我们把这种力称为外力,而把运动器官内部各部分相



互之间的作用力称为内力。外力使生物体发生变形,随着外力的加大这种形变相应增加。但它的增加有一定的限度,超过这一限度,生物体就会被破坏。不同的生物材料有不同的限度,这个限度就是材料的强度。

为了准确描述生物材料的力学性质,我们引入应力和应变的概念:

应力——物体在单位面积上所具有的内力称为应力。

应变——外力使物体某一点发生的变形称为应变。

应变有两种基本形式:法向应变为长度的改变量即形变(伸长或缩短)量除以原长,用百分比来表示;剪应变为角度的改变,即原始角度的改变量,用弧度表示。

人体生物材料的力学性质是多种多样的,按其性能的不同可分成许多类,如弹性材料、黏性材料、塑性材料等。

弹性材料的特点是:应力与应变成正比,材料能保持固定形状,外力消失后材料恢复原状。

黏性材料的特点是:应力取决于应变的时间变化率(应变速度)。黏性流体无固定形状,且流动过程是不可逆的。

塑性材料的特点是:应力与应变成非线性关系。外力消失后,材料的变形不可恢复。

如果有一种材料既具有弹性材料的力学性质又具有黏性材料的力学性质,那么这种材料就叫作黏弹性材料。生物固体材料,如骨、软骨、肌肉等都是黏弹性材料。黏弹性是引起能量消耗的重要原因,而且黏弹性材料的力学性质与温度、压力等外界环境的关系极为密切。

(二) 黏弹性材料的特点

黏弹性材料具有以下三个特点:

● 应力松弛

具有一定形变(应变恒定)的生物材料,其应力随时间的延长而下降的现象称

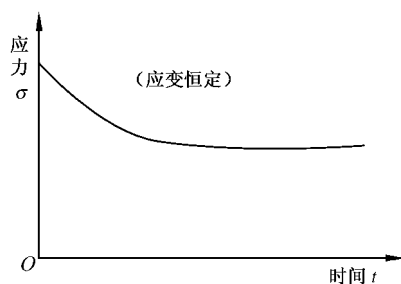


图 4-1 应力松弛曲线