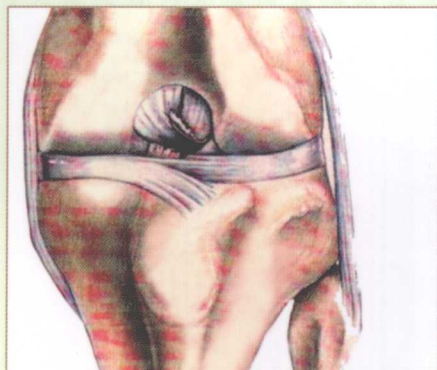


骨伤科 生物力学

主编 刘献祥 尉 禹 王志彬 薛传疆



北京科学技术出版社

骨伤科学 生物力学

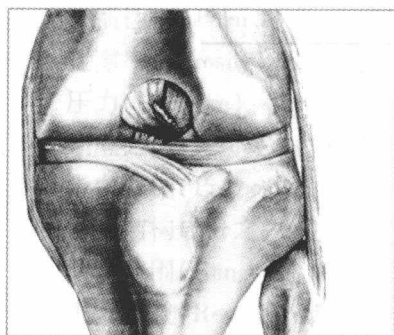
主编 陈维明 副主编 王长庚 王树强



人民卫生出版社

骨伤科生物力学

主编 刘献祥 尉 禹 王志彬 薛传疆



北京科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

骨伤科生物力学/刘献祥等主编. —北京:北京科学技术出版社, 2010. 1

ISBN 978 - 7 - 5304 - 4314 - 9

I. 骨… II. 刘… III. 骨损伤 - 骨骼力学 IV. R683

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 181262 号

骨伤科生物力学

主 编: 刘献祥等

策 划: 邬扬清

责任编辑: 邬扬清

责任校对: 黄立辉

封面设计: 耕者设计工作室

出 版 人: 张敬德

出版发行: 北京科学技术出版社

社 址: 北京西直门南大街 16 号

邮政编码: 100035

电话传真: 0086 - 10 - 66161951(总编室)

0086 - 10 - 66113227(发行部) 0086 - 10 - 66161952(发行部传真)

电子信箱: bjkjpress@163.com

网 址: www.bkjpress.com

经 销: 新华书店

印 刷: 三河国新印装有限公司

开 本: 889mm × 1194mm 1/16

字 数: 560 千

印 张: 21.875

版 次: 2010 年 1 月第 1 版

印 次: 2010 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5304 - 4314 - 9/R · 1201

定 价: 45.00 元



京科版图书, 版权所有, 侵权必究。

京科版图书, 印装差错, 负责退换。

编 委 会

- 主 编** 刘献祥(福建中医学院)
尉 禹(北京中医药大学)
王志彬(天津医院骨伤研究所)
薛传疆(北京中医药大学)
- 副主编** (以姓氏笔画为序)
刘安平(安徽中医学院)
李林安(天津大学)
吴剑峰(北京中医药大学)
张建新(福建中医学院附属泉州市中医院)
章汉平(湖北中医学院)
黄克勤(国际华佗中医学院)
程方荣(河南中医学院)
- 编 委** (以姓氏笔画为序)
王志祥(天津医院)
王健智(河南洛阳正骨医院)
孙永强(河南省中医院)
刘献祥(福建中医学院)
李文成(天津大学)
李林安(天津大学)
李慧英(河南中医学院第一附院)
陈向华(安徽中医学院)
吴剑峰(北京中医药大学)
张建新(厦门大学生命科学院)
秦 杰(广州中医药大学)
章汉平(湖北中医学院)
黄克勤(国际华佗中医学院)
尉 禹(北京中医药大学)
程方荣(河南中医学院)
薛传疆(北京中医药大学)
- 主 审:** 孟 和 顾志华

前 言

生物力学是处于生命科学与力学之间的一门学科,是活跃在自然科学前沿的新兴边缘学科之一,它为解决生命科学的许多问题提供了力学的基本理论和分析方法。当前生物力学已经以其独特的内容和研究方式而成为一门具有坚实基础和广阔前途的独立学科。骨伤生物力学,是它的一个分支学科。

生物力学与骨伤科疾病具有十分密切的关系。它是力学、医学、生物学等的边缘学科,它的发展必然促进临床医学,特别是骨伤科的飞速发展。运用生物力学知识,认识人体运动系统的结构与功能,深入探讨创伤的发生、发展机制,采用最为合理的保护和治疗措施,减少创伤疾患的发生,提供科学实用的治疗方法,在骨伤科疾病的病因学、病理学、治疗学等方面都具有十分重要的意义。

本书主要包括与生物力学相关的力学基础知识、骨关节、肌肉、韧带的生物力学特性和骨伤科疗法的生物力学原理。读者对象为骨伤专业的硕士、博士研究生,也可作为从事骨伤专业医疗、教学、科研的医师、教师及其他研究人员的参考用书。

本教材的编写在全国高等中医药院校骨伤教育研究会的领导下完成,并得到了参编单位的通力合作和大力支持,在此表示衷心感谢!

由于编写经验和水平所限,错误之处在所难免,诚请读者在使用过程中提出宝贵意见,以便将来再版时作进一步修改、充实和完善。

编者

2009年9月

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 研究的对象、内容及方法	(1)
第二节 骨伤科生物力学发展概况	(2)
第二章 力学基础知识	(7)
第一节 力	(7)
第二节 静力平衡	(11)
第三章 骨的生物力学性质研究	(21)
第一节 骨的载荷、内力和变形	(21)
第二节 骨的基本力学性质	(30)
第三节 不同载荷下的骨折类型	(47)
第四节 骨的黏弹性	(54)
第五节 骨的压电效应及临床应用	(55)
第四章 骨折固定疗法的生物力学研究	(63)
第一节 弹性固定准则	(63)
第二节 夹板局部外固定的生物力学机制性研究	(65)
第三节 夹板局部外固定的材料力学研究	(72)
第四节 纸压垫的力学性能测试	(79)
第五节 布带的力学性能测试分析	(83)
第六节 石膏外固定的力学原理	(85)
第七节 中国骨伤新疗法的临床生物力学研究	(86)
第八节 骨折内固定疗法	(97)
第五章 肌肉、肌腱和韧带的生物力学研究	(101)
第一节 骨骼肌的结构和收缩学说	(101)
第二节 软组织的生物力学特性	(111)
第三节 胶原组织的生物力学特性	(113)
第四节 肌腱的结构与生物力学特性	(116)
第五节 韧带的结构与生物力学特性	(121)

第六章 关节的生物力学研究	(129)
第一节 关节受力分析	(129)
第二节 关节软骨退变的力学因素	(181)
第三节 人工关节置换的力学效应	(186)
第四节 现代骨水泥技术	(200)
第七章 脊柱的生物力学研究	(204)
第一节 脊柱的生物力学特点	(204)
第二节 脊柱的运动	(220)
第三节 脊柱损伤的生物力学研究	(227)
第四节 颈背腰痛的生物力学研究	(237)
第八章 生物力学实验方法	(271)
第一节 机械性能测试	(271)
第二节 电阻应变测试	(281)
第三节 光测法	(293)
第四节 有限元分析法	(326)
附录 生物力学术语	(334)

第一章 概 论

骨伤生物力学是根据人体构件的解剖特征和力学性质用力学原理和方法研究骨折、脱位、筋伤、矫形、移植等病因、病机、诊断、治疗及预防的科学。是力学、生理学、解剖学和矫形外科等学科相互渗透的边缘学科,是生命科学的组成部分,是自然科学的前沿,它体现了当代科学的发展特点。

第一节 研究的对象、内容及方法

一、研究对象

骨伤生物力学是以骨骼、关节、筋肉为研究对象,研究骨关节、筋肉在负荷作用下的力学特性和变化规律的学科。它的最终目的是剖析运动系统的力学性质,揭示骨骼系统生长、发育、吸收和改建与负荷之间的相互关系,给出生命科学中这类力学问题的精确定量分析,为预防、诊断、治疗伤科疾患提供理论依据。

二、研究内容

骨伤生物力学研究的内容广泛,概括起来有:

1. 骨力学性质,特别是与工程材料不同的生物体特有的一些力学性质,如骨的功能适应性,断面愈合、修复与应力间的定量关系等反映生命特征的性质。
2. 肌肉、肌腱、筋膜、韧带、腱鞘、滑囊等力学性质和正常功能,由功能的变化以示其病变情况。
3. 寻找环境效应对生物组织的影响,如风、寒、湿等对人体组织的影响,使机体达到所处环境的最佳状态,增强对环境的适应性。
4. 骨折的病因、病机、治疗研究,为新型医疗器械、假肢、人工关节的设计提供理论依据。
5. 骨矫形、延长和移植的手术方案和疗法。
6. 骨重建反馈机制及骨生长的人为控制,研究骨断面愈合速度与断面应力间的定量关系,确定生理应力值的区间和最优值。
7. 伤筋和错骨缝的研究,把关节和筋伤的诊断和治疗提高到新水平具有重要意义。
8. 骨缺血坏死问题和骨性关节炎的病因、病理及疗法研究。
9. 现行伤科疗法的改进和完善,如为使加压钢板符合骨修复规律,改进取出钢板时间,使用随时间推移刚度逐渐降低的材料(生物降解材料)或改进钢板截面设计等。

骨伤生物力学的特点是密切与临床结合,既以临床观察和动物实验数据为基础,又以提高临床疗效为目的。它与中医伤科研究内容大体一致,但在某些方面其研究内容已超出当今中医伤科的范围。

三、研究方法

目前,研究骨伤力学问题,依照连续体力学的传统理论和方法,即在深入研究骨组织结构的基础上,把骨抽象为一种模型化了的工程材料,把它看作理想弹性体,或看作黏弹性体等力学模型。它可以是各向同性、横观各向同性、正交各向异性,两相或多相复杂形式的复合材料。在某种特定情况下选取好力学模型,是研究骨伤生物力学的首要问题,进而确定其本构关系。因此,我们得到的只是近似规律。建立骨的真实本构关系是一个非常困难的问题,最大难点在于目前还无法把有生命组织的本构关系用精确的数学方式表达出来。

第二节 骨伤科生物力学发展概况

一、生物力学的发展和近况

生物力学是根据已经确定的力学原理来研究生物中力学问题的学科,是力学、生物学、医学等学科之间相互渗透的边缘学科,它将这些学科的基本原理和方法有机地结合起来,同时还广泛地应用了物理学、数学、工程学的概念和方法。它是活跃在自然科学前沿的新兴边缘学科之一,作为一门独立学科才有 30 多年的历史,骨伤科生物力学是其中的一个分支学科。

生物力学是个古老的课题,对它的应用和研究有着悠久历史。早在《素问·痿论》中就有“宗筋主束骨以利机关……”的论述,这里包含了几个方面的力学意义:一是骨本身要受宗筋的约束,二是骨与骨之间的联系要靠宗筋,三是关节(机关)的正常活动要靠宗筋维系。这里的宗筋可能是指关节囊、韧带及肌腱的结构与功能。在力学方面,这里明确地提出了肢体之间要靠一定的联系与制约才能发挥其正常的生理功能。

《吕氏春秋·本生》说:“出则以车,入则以辇(古代的一种轿),务以自佚(自己图舒适而失去运动机会),命之曰招蹶(四肢痹蹶)之机。”这是多么生动的运动生物力学的描述,可能是对生物界“用进废退”自然规律的最早阐述。

在《医宗金鉴·正骨心法要旨》中有“必素知其体相、识其部位,一旦临证,机触于外,巧生于内,手随心转,法从手出……,或拽之离而复合,或推之就而复位,而正其斜,或完其阙”的论述,提出要清楚地了解人体的整体结构及局部特点,认清外力对人体作用的效应,用不同的复位力来整复骨折脱位。这里包含了丰富的经典力学内容:对于有重叠倾向的骨折脱位,用大小相等;方向相反的牵引力使之“离而复合”,对有分离倾向的骨折脱位用大小相等;方向相对的挤压力使之“就而复位”。还提到“手本血肉之体,其婉转运用之妙,可以一己之卷舒,高下疾徐,轻重开合,能达病者之血气凝滞,皮肉肿痛,筋骨挛折,与情志之苦欲也。”对所施复位力的大小、方向、作用点及速度提出了具体要求,对复位力的生理效应做了明确的解释,如果手法复位不能满足要求,则“制器以正之,用夫手法之所不逮”,提倡用机械力来补充人力之不足。

在西方,古老的力学也与医学有着不解之缘。伽利略在成为著名物理学家之前,是一个医科学校的学生,他找到了摆长与周期的定量关系,并用来测定人的心率,用与心搏合拍的摆长来表达心率。1638 年,他首先发现施加载荷与骨形态之间的关系。Borell(1608~1679)是一位意大利数学家和天文学家,在他的著作《论动物的运动》一书中,成功地阐明了肌肉的运动和动物自身的问题。1834 年,Bell 指出动物可以使用尽可能少的材料来承担载荷。1838 年,Ward 报告增加压缩载

荷可以增加骨的形成。1852年,Ludwig 论及重力和肌肉力对维持骨的质量是必要的。1862年,两位德国的研究人员各自独立地报告了加压对骨生长的影响。1867年,瑞士教授 Herman Von Meyer 在他的报告中指出:骨的内部结构和外部形态一样,与其承受载荷的大小及方向有直接关系。1892年,德国医学博士 Julius Wolff 发表了他著名的《骨转化的定律》。他熟悉 Meyer 晚期著作中所引用的文献及其他早期的骨科学著作,也熟悉瑞士工程师、数学家 Culmann 所做的模拟股骨的理论分析,这篇著作是他 30 多年工作中经验、体会和临床观察的结果,已获得理论和经验的证明,至今仍是骨科生物力学的重要基础理论之一。1938年,Hill 以他在肌肉力学方面的贡献获得了诺贝尔奖。

20 世纪初期,由于学科的分化,生物力学的发展受到了一些影响,后来,体育运动的兴起促进了生物运动学的发展,20 世纪中叶以后,医学和生物学家们逐渐认识到,要解决本学科的许多问题必须考虑力的因素。另一方面,力学家在寻求力学的发展和应用的新领域时也注意到生物体是动力学的广阔天地。正是两者的合作促成了生物力学这门新兴边缘学科的形成。

近年来,生物力学引起了人们广泛注意和研究,发展十分迅速。美、日、苏、澳、加、德等国均建立了专门的研究机构。尤其美国发展较快,在许多大学,附属医院和专门机构中对生物力学在基础理论和实际应用领域都进行了广泛研究,他们重视学科间的渗透,注意医学与工程学科的结合,并重视应用,基础理论与实验研究并举。

我国对生物力学研究起步较晚,1978年,全国力学规划会议将生物力学列入力学发展规划纲要中,1979年,在重庆召开了全国高等学校生物力学座谈会,1983年和1984年分别在上海和太原举行了全国第一届、第二届生物力学学术会议。从世界范围看,我国生物力学研究力量还是较薄弱的,缩短同先进国家水平的距离,开拓新领域,发展具有中国特色的生物力学,是我国生物力学界的责任。

冯元桢教授在我国第一届生物力学学术会议上就生物力学这门学科的目标与内容作了精辟阐述,指出研究生物力学的目标是:

探索科学的新奇;增进对生理学与医学的了解;帮助医学发展与提高防治疾病的水平;降低医疗费用;发展健康事业。

生物力学目前研究的内容是:

定量生理学;生物组织流变学;液体的流动与平衡;物质的迁移与扩散;微循环;生理学的系统分析;生物控制系统。

心血管循环系统的临床问题;心脏瓣膜的修复,人工瓣膜;心脏辅助装置,如左心室辅助泵、起搏器等;体外循环,心肺机;血液的渗流与处理;全心替换;无损伤诊断;脉搏波的分析;湍流的发生及其影响;血管壁物质的交换。

心肺动力学手术后的问题;肺积水与肺不张;肺动脉血流的研究;声学与应用。

外科的损伤与愈合;新的外科手术,如动静脉交替、人工材料移植等;人工脏器;骨科与整形;牙科。

健康工业,病床与轮椅;健身房;运动器械;假肢;职业安全与健康;公路交通与飞行中的安全;老人和聋、哑、盲人辅助器械;常用监护装置。

显然,仅以上内容已很广泛,任一课题的解决都将造福于人类。

今后生物力学发展的关键在于:

建立生物材料的本构方程:就像研究工程力学先知道胡克定律一样,建立生物材料的物性本构方程是研究生物力学的第一步。

收集物性迁移与扩散的数据:如通过呼吸进入肺泡的氧气如何进入血液再进入细胞,又如水如何进入血液、体液,最后达到体液平衡等,都属于这类问题,不研究这些问题就等于没有接触到真正的生物问题。

寻找生长与应力的关系:是生物力学十分重要的课题,最早是在骨骼中发现的,骨骼的生长与承受一定的应力密切相关,如胎儿的脚不断踢动对其关节的生长是十分有利的。可以说,生长与应力密切相关,它使生物力学有了“生命”。

生物力学工作者今后相当长的一段时间里还是收集生物材料的基本数据,建立本构方程;寻找物质迁移与扩散的基本数据与规律;搞清生长与应力的基本关系,有了这三方面的基础,再利用力学的传统工具与分析方法,可以得到许多有用的结果。

二、骨伤科生物力学的发展和近况

骨伤科生物力学与其他生物力学分支一样,20世纪60年代后期开始逐步发展起来。

关于骨结构方面,1960年,Currey给出了板层骨及其形成的详细说明。1967年,首次分离出哈氏系统。Swedlow(1975),Katz(1976)从电子显微镜观察到哈氏系统的结构。1976年,Glimcher从分子水平上讨论了骨组织构造。

关于应力-应变关系方面,1970年以来有较多研究。1974年,Bundy证实干燥的人股骨的力学性能,是沿轴向和横向方向变化的。1970年,Lang首先用超声波确定骨的弹性模量。1975年,Reilly等对人及牛的股骨进行了实验,1977年,Knets等试验了人的胫骨,给出相应实验结果。Cart-er和Hyes(1977)报道了骨松质的弹性模量。1980年,Katz假定了哈弗骨的一个双层分层纤维增强模型。1981年,Williams等报道了对小梁骨的研究。

骨对应力适应性方面,1960年,Currey描述了骨表面上新板层骨的沉积过程。1964年,Frost对表面重建和内部重建做了区别。1969年,Kazarian说明了骨松质的内部重建。1978年,Shumskii等的研究说明了载荷对骨组织重建的影响。还有不少学者,如Woo(1981),Mead(1981),Liskova和Hert(1971),Vhthoff和Jaworski(1978),Jaworski(1980)等,对骨的重建进行了研究。

关于反馈机制,1976年,Cowin和Hegedus作了详细描述。1979年,Guzelsu和Demiray对骨的机电性质做了很好的全面综述。

关于骨重建的力学模型,目前已有好几种理论。Cowin和Van Buskirk(1979)使用的表面重建模型,假定了骨可被模拟成一线弹性体,此弹性体的自由表面按照一附加的特殊本构关系运动。已有一些实验定性与此结果一致。1976年,Cowin和Hegedus把骨看作由细胞、固相基质和间质液构成的复合材料,提出了其内部重建的本构关系。在这方面,Cowin等工作是有代表性的。

关于骨生长的机制,假设甚多,较为流行的是压电效应假说。深田荣一首先发现骨具有压电性。Bassett和Pawlick发现若在骨折端植入电极,则新生骨质将沉积于负极。说明压电效应可能是骨重建的机制。

Justus和Luft的实验表明发生变形的骨组织间质液中 Ca^{2+} 浓度增大,因应力改变了羟基磷酸钙的溶解度。 Ca^{2+} 随间质液一起流动也会影响骨重建,具体过程目前还不清楚。

不少学者还曾做过许多工作,不再一一列举。

虽然我国在生物力学研究上与国际先进水平比较还存在一定差距,但从1979年以来在骨力学研究上进展还是喜人的,研究较多的有:

骨的一般力学性质、骨的黏弹性性质、骨在撞击下的动力响应;

人颅骨冲击韧度 α_K 的测定、弹性模量 E 和泊松比 μ 的实验研究及有限元分析、头盖骨断裂韧

性、下颌骨的受力分析、牙周支持组织三维光弹性应力分析、牙本质及其支持骨组织的弹性模量；

脊柱的力学性质、基本数学模型、脊髓打击研究、椎间盘有限元模型、脊柱骨松质各向异性、黏弹性实验研究、椎骨、脊柱测量技术；

关节受力分析、人工关节；

关于短跑的分析、人体动作的数学模型、手臂振动响应、手臂机构的动力学研究等。

这些成果可为骨力学的深入研究和临床应用提供参考。

骨伤、骨愈合与临床研究方面，如骨干骨折断面倾角与骨牵引关系；骨科复位固定器的效应分析，夹板局部外固定的生物力学研究；愈合过程的动物实验与电刺激；脊柱侧凸；颈椎病的发病机制；椎间盘突出症；头颅损伤；跟骨、跖骨、舟骨骨折治疗等。令人兴奋的是这些研究都与骨伤科生物力学原理结合，并已在临床初见成效。在骨折愈合机制方面也展开了实验研究，由于其复杂性，对它的研究还处在初始阶段。这些探讨虽然是初步的，但它为骨折治疗、骨移植等的进一步研究打下了基础。

三、骨伤科生物力学研究较多的几个问题

骨伤科生物力学研究课题较广，深度也各不相同。

(一) 骨对应力的适应性

这是生物力学的前沿，“生物力学的灵魂”，“生物力学未来的主题”，正是由于有了这种关系，生物力学才有了生命。对该课题的研究已经起步，我们最关心的是骨的生长、愈合与应力关系。

“骨转化定律”指出：“骨的功能的每一个改变，都按着数学法则，以某一定的方式来改变其内部结构和外部形态”。即骨的外部形态和内部结构反映了其功能。活体骨不断进行着生长、加强和再吸收过程，我们把这个过程总称为骨的“重建”，骨重建的目标总是使其内部结构和外表形态适应其载荷环境的变化。重建可分为表面重建和内部重建，表面重建指的是在骨外表面上骨材料的再吸收或沉积；内部重建则是指通过改变骨组织的体积密度时骨组织内部的再吸收或加强。

近些年来，许多学者对该课题的研究已做了大量工作，研究在不断深化。

了解及预言用来控制活体骨的重建性能的应力，不但在骨折临床和矫形等方面有着重要意义，对合理设计接触骨组织的假体器械也特别重要，这些器械包括骨折固定板、螺钉、髓内钉、外固定支架以及人工关节等。该定律的正确性已获得实验和临床的支持。

关于骨的功能适应性理论，1973年，Pauwels曾做了描述，他把骨看成是具有反馈装置的控制系统。在通常情况下，骨所受的机械应力与骨组织间存在一种生理平衡。在一定的应力情况下，骨质的聚积和再吸收是相平衡的，随着骨中应力增加引起骨组织加强，随着应力的减小骨组织发生再吸收现象。即在一定的应力范围内，骨组织的数量与应力值之间存在某一关系，Pauwels用一个三次函数来表示该关系。

关于骨的重建理论，还有几种不同的力学模型，代表性的是 Cowin 的工作。

总之，骨的受力情况虽然很复杂，但它总是以最优的外表形态和内部结构适应其功能的需要，以优化的形态和结构为其自身重建的目标，是最理想的等强度优化结构。骨不仅在某些不弯的承载环境中显示出其优越性，且在承载变化情况下，通过反馈控制系统，使其无论在几何形态还是内部结构上都做到与承载环境充分相适应。

(二) 骨的力学性质

为了确定骨受力后的情况，首先需要知道它的基本力学性质，这些性质除上述外，还包括骨在受到拉伸、压缩、剪切等外力作用下的极限强度、极限应变、杨氏模量、泊松比、松弛现象、蠕变性质

和本构关系等。所得实验数据和函数关系受许多因素影响,如试件形状、尺寸、年龄、性别、职业、含水量、遗传和营养状况等,即使同一人的不同部位骨的力学性质也不同,甚至差别很大,所以,只能给出统计结果,每个不同个体的相同部位骨的力学性质,只是它的一个近似。

骨和软骨从其组成成分看,都可看成由固相和液相组成的二相非均质材料。

根据实验建立骨的本构关系。最简单的可采用理想黏弹性体模型,相应的本构关系就是广义胡克定律。较精确的是把骨和软骨看作黏弹性材料处理,得到相应的本构关系。

(三) 骨骼肌力学

骨骼肌的力学特性与骨和其他软组织不同之处在于,骨骼肌能使化学能在体温状态下作机械功,通过自身的主动收缩而造成人体的机械运动,而骨与其他软组织则是被动的,不具有上述特性。骨骼肌力学研究的任务是:了解骨骼肌的构成和工作原理、收缩过程的力学规律,建立兴奋状态下骨骼肌的本构关系。

(四) 关节生物力学

研究内容包括关节面、关节软骨、关节囊及关节腔等。各关节的结构、功能虽然不完全一样,但有着共同的特性:摩擦系数小、运动灵活、有一定的强度、刚度和稳定性。

形成关节疾病的原因是由于关节畸形、超出生理状态的载荷和环境影响,这些都属生物力学研究的范畴。所以,生物力学可作为分析关节疾病成因、提出治疗方案和预防措施的有效手段,也是设计骨科医疗器械、假肢、人工关节及矫形外科用的各种支具等的理论依据。

(五) 脊柱生物力学

脊柱是人体中主要受力结构,脊柱损伤和许多疾患都与它的受力情况相关联。如椎间盘突出和纤维断裂与脊柱受的压力及弯矩有关;椎骨骨折、脊柱侧凸等能用力学说明并指导治疗;对脊柱其他病变和研制治疗脊柱疾病的各种装置都需具有生物力学知识。

脊柱结构是较复杂的,考虑全部元件力学特性的研究尚未进行,对椎骨、椎间盘、韧带等脊柱元件已作了某些研究,并已得到具有理论意义和临床上有价值的成果。

椎骨力学特性和脊柱疾患的研究在我国已有一定研究。同其他部位的骨组织一样,我国应有适合自身特点的数据和成果。

关于骨伤科生物力学问题,还有许多研究或待研究的课题,这里只是针对目前情况简单加以介绍。应该指出的是,即便是已着手研究的课题,也只能说是迈出了第一步,对了解其真实的客观规律性还有相当长的一段路程,有待更多学者和有识之士去开拓这块新的领域。

第二章 力学基础知识

力学通常可分为运动学、动力学和静力学。运动学只描述物体的运动,不涉及引起运动和改变运动的原因;动力学则研究物体的运动与物体间相互作用的内在联系;静力学研究物体在相互作用下的平衡问题。

在力学中,为了突出研究对象的主要性质,暂不考虑一些次要的因素,经常引入一些理想化的模型来代替实际的物体,“质点”和“刚体”就是理想化模型。所谓质点,是指具有一定质量的几何点。若不涉及物体的转动和变形,可暂不考虑物体的形状和大小,把物体当作质点来处理。刚体是指在外力作用下其形状和大小完全确定而不发生变化的物体。真实的物体受力作用时,它的形状或大小总要或多或少地发生改变。但是,当这种形状或大小的改变可以忽略时,刚体则是一个有用的模型。一般情况下,在分析研究物体的平衡和运动时,物体的形状和大小没有显著的改变,可以近似地视为刚体。

本章讨论力、力的合成与分解、力矩、刚体静力平衡的规律等,这些内容是研讨人体关节力学所必备的力学基础知识。

第一节 力

一、力

力是一个物体对另一个物体的作用,并引起被作用物体的运动状态发生变化。力是矢量,对力这一矢量依其作用效果来看,不仅要知道它的大小和方向,还要知道它的作用点。力的大小、方向和作用点共称为力的三要素。

力作为矢量用粗写字母表示,意味着既要考虑其大小,亦要注意其方向和作用点。只关心力的大小时用细写字母表示。力的国际制单位是 N(牛顿)。力的其他常用的单位有 dyn(达因)。 $1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N}$ 。

力还可以用有向线段表示,线段的长度代表力的大小,线段的指向代表力的方向,线段的端点代表力的作用点。一般说来,作用点用尾端代表时,力为拉力或切力,用首端代表时力为压力。在研究力的运动效应时,力的作用点可以沿其作用线任意移动而不会改变其效应。但应注意,在研究力的变形效应时,力不能沿其作用线任意移动。

二、力的合成的图解法

如果有几个力同时作用在某一物体上,其作用效果与另一个力单独作用在该物体上的效果完全相同,则后一个力称为前面几个力的合力,前面几个力称为后一个力的分力。

已知分力求其合力的过程,称为力的合成。力的合成可用图解的方法。力的合成的图解法有力的平行四边形法则:把两个已知的分力作为平行四边形的两邻边作出平行四边形,它们所夹的

那条对角线就是这两个分力的合力。对于三个及三个以上分力的合成,可以依次用平行四边形法则求合力:先求出两个分力的合力,对这一合力与第三个分力运用平行四边形法则再求合力。以此类推,即可求出总的合力。

力的合成图解法还可运用多边形法则进行:依次将各个分力的首尾相接,最后把第一个分力的尾端向最后一个分力的首端连接起来的有向线段,即为求得的合力。无论是运用多边形法则还是运用平行四边形法则求合力时,各分力的排列顺序不会影响最终所求得的合力,这是由合力的惟一性所决定的。

应该指出,力的合成的多边形法则中,“多边形”大多数情况下可能是一条曲折的折线,并且是一条空间的折线。

例:一人拉一个物体,求物体受的合力,如图 2-1 所示。把这一物体与周围物体隔离开来,即运用隔离物体法分析。该物体受四个力:拉力 f_1 ,重力 W ,地面支持力 N 和摩擦力 f_2 。可以用多种排列顺序运用多边形法则求合力 F 。例如一种为 f_1 、 N 、 f_2 、 W ,见图 2-1a;一种为 W 、 f_2 、 N 、 f_1 ,见图 2-1b。两者结果一致。

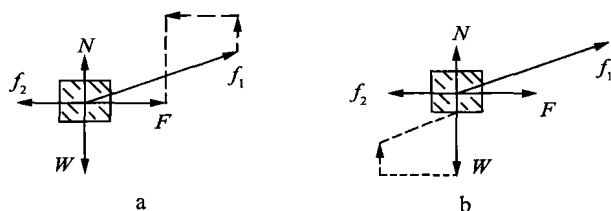


图 2-1 力的合成的多边形法则

三、力的分解的图解法

已知合力求其分力的过程,称为力的分解。力的分解过程需要知道一些限定的条件:如已知各分力的方向求它们的大小,或已知某一分力的大小和方向求另一分力等,才能得到惟一确定的结果。力的分解的图解法,是平行四边形法则或多边形法则的逆过程。

例:求斜面上物体所受重力的分力。

根据实际情况,重力 W 应该分解为一个使物体沿斜面下滑的分力 W_1 ,它与斜面平行指向下方;重力 W 的另一个分力 W_2 ,应该与斜面垂直,使物体给予斜面一个压力。由于限定了两个分力的方向,用平行四边形法则的逆过程作图,即得到两个分力 W_1 和 W_2 的大小,如图 2-2 所示。

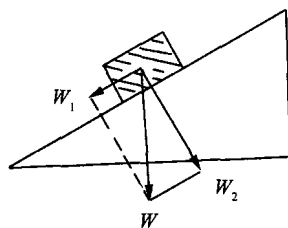


图 2-2 力的分解

四、力的合成的数学解析法

力的合成还可以用数学解析法,现以求 f_1 、 f_2 、 f_3 和 f_4 四个力的合力 F 为例,说明其步骤如下:

(1) 确定空间坐标系,一般为空间直角坐标系,求各分力 f_i ($i=1,2,3,4$) 在坐标轴上的分量。也就是先做分力的再分解:

$$\begin{aligned} f_{ix} &= f_i \cos \alpha_i, \\ f_{iy} &= f_i \cos \beta_i, \\ f_{iz} &= f_i \cos \gamma_i \end{aligned} \quad (2-1)$$

式中, α_i 、 β_i 、 γ_i 是分力 f_i 在空间坐标系中的方位角。

(2) 求坐标轴上各分力分量的代数和, 即为合力 F 在各个坐标轴上的相应分量:

$$\begin{aligned} F_x &= \sum f_{ix}, \\ F_y &= \sum f_{iy}, \\ F_z &= \sum f_{iz}. \end{aligned} \quad (2-2)$$

(3) 按下列方程式即可计算出合力 F 的大小和方向。方程式中角 α, β, γ 是合力 F 在空间直角坐标系中的方位角。

$$\begin{aligned} F &= \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2} \\ \cos\alpha &= \frac{F_x}{F} \\ \cos\beta &= \frac{F_y}{F} \\ \cos\gamma &= \frac{F_z}{F} \end{aligned} \quad (2-3)$$

五、几种常见力

在力学上通常遇到五种形式的力。它们是:重力、弹性力、接触力、摩擦力和肌肉力,前四种力在各个领域中都有一定的普遍性,而最后一种力则是生物力学所特有的。

(一) 重力

在地球上的任何物体都受到地球的引力作用,地球表面上物体的重力是指地球对物体的引力。由万有引力定律,可以求出质量为 m 的物体的重力的大小为

$$W = mg$$

式中, g 为重力加速度,一般取值为 9.8m/s^2 。

重力的方向指向地心。

(二) 接触力

所谓接触力就是物体之间相互接触而作用的力,接触力通过接触点且沿着接触点的法线方向。接触力是由于物体之间因接触变形而产生的。

(三) 弹性力

由于接触力是因物体变形而产生的,因此接触力也可称为弹性力。然而,最典型的弹性力则是弹簧的弹性力。

实验证明,在弹性限度内,弹性力的大小与弹簧的变形 x (伸长或缩短) 成正比关系,即

$$F = -Kx \quad (2-4)$$

式中, K 称为弹簧的弹性系数,它是使弹簧发生单位变形所需的力,它的单位是 N/m 。“ $-$ ”号表示弹性力总是指向平衡位置。

(四) 摩擦力

当相互接触的物体有相对滑动的趋势时,在接触面的切线方向出现了阻止相对滑动的力,这个力称为摩擦力。未发生相对滑动时的摩擦力称为静摩擦力。静摩擦力的最大值 $F_{\max}$ 与接触面的性质有关,也与接触面的法向反力 N 的大小有关。一般地,最大静摩擦力的计算公式是

$$F_{\max} = \mu N \quad (2-5)$$

式中, μ 为静摩擦系数。