



华夏英才基金学术文库

主编 陈新民 赵云凤

口腔生物力学



科学出版社

www.sciencep.com



上海交通大学出版社

主编 周传明 副主编 周天翔

口腔生物力学



上海交通大学出版社



华夏英才基金学术文库

口腔生物力学

主 编 陈新民 赵云凤

副主编 陆支越 赵志河

编 者 (按姓氏汉语拼音排序)

陈新民 高 宁 廖 蓉 陆支越

滕胜毅 王 琪 王小容 杨小东

袁 林 赵云凤 赵志河

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书较全面和深入地介绍了口腔医学中的生物力学研究成果和力学在口腔医学中的应用。主要内容包括生物力学基本概念、研究内容及方法、发展概况;口腔生物力学理论基础,口腔生物组织生物力学与口腔颌面软硬组织力学改建;固定义齿、可摘部分义齿、全口义齿生物力学;牙颌面畸形矫治生物力学;种植义齿、牙周病矫治生物力学;口腔修复材料学、口腔摩擦力学及口腔生物力学常用的实验应力分析方法和理论应力分析方法等。

本书内容新颖,理论联系临床、力学联系医学,具有很强的理论性和实用性,可供口腔医学各科及相关专业科室的医生、研究人员、医学生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

口腔生物力学 / 陈新民,赵云凤主编. —北京:科学出版社,2010.6
(华夏英才基金学术文库)

ISBN 978-7-03-027561-5

I. 口… II. ①陈… ②赵… III. 口腔科学-生物力学 IV. R78

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 085500 号

策划编辑:向小峰 / 责任编辑:向小峰 / 责任校对:钟 洋
责任印制:刘士平 / 封面设计:黄 超

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2010年6月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2010年6月第一次印刷 印张:27

印数:1—1 500 字数:645 000

定价:118.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

口腔生物力学是生物力学的重要分支,是介于力学与口腔学间的边缘学科,是口腔医学的重要基础。口腔生物力学运用力学的理论和方法研究口颌系统结构与功能,从生物个体、组织、器官到细胞和分子等不同层次研究应力与运动、变形、流动及生长的关系,是口腔医学、生物学、解剖学、生理学、病理学、力学、物理学、工程学、运动学等多种学科和技术相结合、相互渗透而形成的一门边缘、交叉学科,是理工医学相互渗透融合产生的结果,近20余年发展异常迅猛。本学科的目的是把力学原理引进口腔医学,应用力学原理和方法研究口腔颌面系统生理、病理及诊治规律,从力学角度揭示口颌系统的奥秘。口腔生物力学对加深口颌系统生理病理的基本认识,研究口颌疾病的发生、发展及其防治规律,提高科研和临床诊治水平具有重要的意义。

口腔生物力学在口腔医学领域和力学领域处于一个非常特殊的位置。抽象地分析,它是多门基础学科与多门应用学科相互渗透综合产生的学科,具有明显的学科交叉性、边缘性、综合性和开放性;具体地分析,它是一门力学与口腔医学结合的学科,同时具备医学性、力学性、生物力学性的特点;动态地分析,它是力学与口腔医学交叉融合的结果,其发展既丰富了口腔医学和力学的内涵,又成了口腔医学和力学进一步发展的动力,使其形成一个良性循环过程。目前口腔生物力学已发展出多个分支,如牙体组织生物力学、牙周组织生物力学、髁与颞下颌关节生物力学、充填修复生物力学、固定义齿修复生物力学、可摘部分义齿生物力学、全口义齿修复生物力学、正畸生物力学、种植义齿生物力学、牙周病矫治生物力学、修复充填材料力学等。

口腔医学的临床实践存在不可胜数的力学现象和力学问题,不解决这些问题,口腔医学不可能向前发展。口腔生物力学是理工医相互渗透融合的结果。力学原理应用于口腔医学,不但促进了口腔医学的发展,加强了口腔学科的建设,也极大地丰富了力学原理。力学与口腔医学的“联姻”,深刻地改变了过去学科之间的互不通气、闭关自守的现象,使力学与口腔医学发生猛烈的碰撞,产生了新的学科——口腔生物力学。如近年来口腔种植体的临床使用,就促进两学科之间的合作和融合,种植牙所涉及的负荷、设计、材料选择、力学相容性等问题,已大大超出了口腔医学领域的范围,需要口腔医学工作者具有丰富的口腔医学知识和力学知识,甚至需要口腔医师和力学工程师密切配合,同时也给双方带来了崭新的课题,这就是口腔种植生物力学。因此,多学科的综合与交叉,必然促进科学的发展,开辟新的广阔前景。

口腔生物力学的发展,促使口腔医务工作者、力学工程师、生物工程界人士树立开放意识,口腔医师迫切需要懂得力学知识,力学工程师也只有熟悉口腔临床的需求和存在的问题以及相关医学知识,才能获得进一步发展。要达到两学科之间的沟通并不是一件简单的事情,不同性质知识的专业领域,有不同的思维方法,比如力学工程人员惯于数理分析,临床医师长于比较归纳,这就表明他们不但面临知识的丰富和更新问题,同时面临需要改变思维方法的问题。口腔生物力学的建立打开了隔阻学科之间的门户,架上了沟通两种不同类型学科之间的桥梁。口腔生物力学既是一个有生命力的力学分支,又是一个有灿烂发展前景的口腔医学分支。它以刚体力学、固体力学、流体力学和流变学等为基础,涉及口腔组织学、解剖学、生理学及病理学等口腔

医学各分支,特别对于口腔修复学、口腔正畸学、口腔种植学、口腔解剖生理学、颌学、口腔材料学等,已使之融为一体,并形成新的学科分支。

口腔生物力学的研究及其生物力学设计治疗康复,在发达国家尤其在美国,近 20 余年来发展很快。生物力学设计治疗康复的研究和临床实验不仅有广阔的发展前景,还带动了一大批生物高技术的迅猛发展。

我国口腔生物力学起步于 20 世纪 80 年代,经过致力于口腔生物力学研究的口腔医务工作者、力学工程师、生物工程界人士的努力,形成了具有多学科特点的口腔生物力学。

可以说口腔医学的治疗、修复、矫治,存在不可胜数的力学现象和力学问题,给口腔医学的治疗、修复、矫治带来巨大困难,影响治疗、修复、矫治效果。如何进行生物力学治疗、设计、修复、矫治,解决其中的力学问题和力学现象至关重要,如何获得最佳效果是目前口腔生物力学研究的主要领域。

本书介绍了力学原理在口腔医学中的应用,应用力学原理和方法研究口腔颌面系统生理、病理现象及诊治规律,提高对口颌系统生理、病理的认识,提高口腔临床诊治水平。着重介绍了力学与口腔修复学、口腔正畸学、口腔种植学、口腔解剖生理学、颌学、口腔材料学等口腔临床及基础学科的相互交叉、相互融合、相互促进而形成的新学科。

本书首先介绍了生物力学及口腔生物力学研究的内容、研究的方法、历史发展及其对人类保健事业的贡献。在“口腔生物力学的理论基础”一章中着重介绍了口腔生物力学涉及的相关学科的心理理论及结构因子。在“牙体牙周组织及咀嚼系统生物力学”等四章中,介绍了口颌软硬组织的结构功能特点,基本力学性质、各向异性力学性质及黏弹性质和断裂力学性质,咀嚼应力分布、颌的产生及其对颌面发育的影响,牙周组织细胞力学、骨的再造理论、颌力与牙周组织改建。在“颌与颞下颌关节生物力学”一章着重介绍了颞下颌关节的负重力学分析,颌的形态与控制关节韧带及附着的力学意义,关节的润滑磨损及关节盘的力学作用,咬合的力学动态平衡。在“充填和固定义齿修复生物力学”等三章中,介绍了固位与抗力,牙体组织切割力学、充填、嵌体、全冠的修复力学机制,核桩冠系统的功能、设计与固位、应力分布、桩核冠相互力学依存和作用,固定义齿的结构力学、设计与应力分布及功能恢复力学机制。在“可摘部分义齿”、“全口义齿修复生物力学”二章中介绍了活动义齿修复的结构力学、支持力学、稳定力学、断裂力学,其生物力学设计与应力分布、固位抗力及功能恢复的力学关系。在“正畸生物力学”一章着重介绍了牙移动的力学原理,矫治的生物力学机制及矫治器的力学设计。在“种植义齿生物力学”着重介绍了种植体的生物力学相容性及其对代谢的影响,分析了种植体-骨界面的连接形式,界面结合力和种植义齿的设计力学。在“牙周病矫治生物力学”中分析了松动牙的牙周组织变化、松动牙的力学机制,牙周组织的耐受力、外力反应、松牙固定力学,以及牙周病矫治器的生物力学设计、矫治效果分析,并介绍了口腔摩擦力学及实验应力分析方法和理论应力分析方法。

本书由国内外 10 个单位的 11 位学者参与编写。虽然我们几易其稿、尽力完善,但书中难免存在疏漏和不足之处,殷切恳求读者指正。

陈新民

2010 年 4 月 1 日于成都四川大学华西口腔医学院

目 录

第一章 口腔生物力学的发展概况	(1)
第一节 生物力学的概念及其研究内容	(1)
第二节 口腔生物力学的发展概况	(5)
第三节 口腔生物力学的研究方法	(10)
第四节 口腔生物力学的发展对口腔医学的贡献	(14)
第二章 口腔生物力学的力学基础知识	(20)
第一节 力	(20)
第二节 外力、应力与应变	(28)
第三节 材料的基本变形	(33)
第四节 黏弹性物质	(46)
第三章 口腔咀嚼运动的力学分析	(51)
第一节 咀嚼运动	(51)
第二节 咀嚼运动的力学分析	(52)
第三节 咀嚼压力	(53)
第四节 咀嚼对颅、面、颌发育的影响	(54)
第四章 牙体组织生物力学	(56)
第一节 牙体组织的结构特点	(56)
第二节 牙体组织的基本力学性质	(59)
第三节 牙体组织的各向异性力学性质	(66)
第四节 牙体组织的断裂力学性质	(69)
第五章 牙周组织生物力学	(75)
第一节 牙周组织的结构和功能特点	(75)
第二节 牙周组织的基本力学性质	(80)
第六章 咬合力与牙周组织改建的分子机制	(89)
第一节 咬合力	(89)
第二节 牙周组织改建的分子机制	(90)
第三节 牙周组织对咬合力的反应	(96)
第四节 咬合力影响牙周组织改建的分子机制	(97)
第七章 髁与颞下颌关节的生物力学	(105)
第一节 颞下颌关节负重的生物力学分析	(105)
第二节 颞下颌关节韧带和后附着物的生物力学	(109)
第三节 颞下颌关节盘的生物力学	(115)

第四节	咬合的力学平衡与生理性近中移动的力学分析·····	(122)
第八章	充填与嵌体修复的生物力学·····	(128)
第一节	修复体的固位·····	(128)
第二节	牙体组织的切割·····	(129)
第三节	充填修复的生物力学·····	(130)
第四节	嵌体修复的生物力学·····	(133)
第五节	全冠修复的生物力学·····	(135)
第九章	桩核冠的生物力学·····	(143)
第一节	桩的功能特点·····	(143)
第二节	桩的设计与固位·····	(143)
第三节	桩的设计与应力分布·····	(147)
第四节	桩核冠间的相互作用·····	(151)
第十章	固定义齿修复的生物力学·····	(154)
第一节	固定桥的结构力学·····	(154)
第二节	固定桥表面的应力·····	(159)
第三节	固定桥基牙牙体组织的应力·····	(160)
第四节	固定桥基牙牙周组织的应力·····	(161)
第五节	固定桥的功能恢复·····	(163)
第十一章	可摘局部义齿生物力学·····	(165)
第一节	可摘局部义齿的结构力学·····	(165)
第二节	可摘局部义齿设计的力学·····	(167)
第三节	可摘局部义齿基托折断的力学分析·····	(175)
第四节	可摘局部义齿取戴的力学·····	(176)
第五节	可摘义齿保留天然牙牙根的力学意义·····	(178)
第六节	可摘局部义齿功能的恢复·····	(180)
第十二章	全口义齿生物力学·····	(182)
第一节	全口义齿的固位力·····	(182)
第二节	全口义齿功能时的应力分析·····	(184)
第三节	全口义齿基托折断的力学分析·····	(185)
第四节	全口义齿咀嚼功能的恢复·····	(186)
第十三章	牙颌面畸形矫治的生物力学基础·····	(188)
第一节	牙移动的生物力学·····	(188)
第二节	矫形治疗的生物力学·····	(198)
第三节	正畸材料力学·····	(201)
第十四章	口腔种植义齿修复生物力学·····	(210)
第一节	种植义齿的结构组成及其特点·····	(210)
第二节	种植义齿结构受力及受力后效应·····	(214)
第三节	牙种植体-骨界面力学性质·····	(234)
第四节	牙种植体周骨对负荷的反应·····	(247)

第五节	种植义齿上部修复中的力学问题·····	(272)
第六节	牙种植体设计的力学考虑 ·····	(307)
第十五章	牙周病矫治生物力学·····	(337)
第一节	松牙的力学分析·····	(337)
第二节	牙周病矫治的力学依据·····	(340)
第三节	牙周病矫治器设计的力学·····	(344)
第十六章	修复材料的力学·····	(348)
第一节	复合树脂·····	(348)
第二节	口腔陶瓷材料·····	(353)
第十七章	摩擦、磨损与腐蚀 ·····	(362)
第一节	摩擦和自锁·····	(362)
第二节	实验测定·····	(369)
第三节	磨损·····	(372)
第四节	腐蚀·····	(379)
第十八章	理论应力分析·····	(385)
第一节	有限元法·····	(385)
第二节	无限元法·····	(403)
第十九章	实验应力分析·····	(408)
第一节	电阻应变测量·····	(408)
第二节	光弹性法·····	(414)
第三节	全息干涉法·····	(417)
第四节	激光散斑干涉法·····	(421)

第一章 口腔生物力学的发展概况

第一节 生物力学的概念及其研究内容

一、生物力学的概念

生物力学是一门独立的新兴学科,近 30 年来发展突飞猛进。随着社会的不断进步和科学技术的发展,生物力学逐渐渗透入生物学、分子生物学、口腔医学及其他医学的各个领域,促进了各个学科的迅速发展,从而提高了基础学科的理论水平和临床学科的诊断治疗水平。

(一) 生物力学的含义

力学是研究物质运动规律的科学,生物学是研究生命的科学,生物力学(biomechanics)是研究生物与力学有关的问题,试图从力学的角度了解和解释生命科学。换言之,生物力学就是应用力学的原理和方法去研究医学、生理学和其他生物系统的问题。生物力学的内容十分丰富,从鞭毛虫和纤毛的运动到鸟飞鱼游,从人的整个机体到各个器官组织,包括血液及其他体液中水分和气体的运动,以及植物体内水分的输运等。

本书主要讨论与口腔解剖生理学、口腔医学有关的力学问题。这部分也正是近年来生物力学研究的重点。人们之所以重视这方面的研究,主要是因为没有生物力学就不可能很好地了解口腔生理学及口腔医学。对于人体器官来说,生物力学有助于了解器官的功能,由功能的变化来推知生理或病理变化的含义,从而设法进行防治。生物力学的发展能使医学和生理学许多知其然而不知其所以然的现象得到合理的解释,故有人认为生物力学是研究医学的重要工具之一。

生物力学在 20 世纪 90 年代发展十分迅速,这主要是因为生物力学促进了人们对自然界动物和植物的了解,对医药卫生、生理、病理研究有所贡献。生物力学是用工程学的方法、手段去研究生物的各种机制,以公式或定量计算去分析、论证有关生理现象规律的学科。有研究者从力学方面研究生理问题,也有研究者从生理方面研究力学问题。生物力学现已形成一门跨学科领域的多学科性力学分支,方兴未艾。

(二) 生物力学与生物医学工程的关系

生物力学是生物医学工程(biomedical engineering)的一个基本的,而且是当前很活跃的组成部分。生物医学工程是利用自然科学和工程技术来研究人体结构与功能关系的边缘学科。它将人体划分为整体、器官和组织、微观等各个层次,而各层次的生命过程、病理过程可看做是一个系统状态的变化过程,并将工程学的理论方法与生物学、医学的理论方法有机地结合起来,研究这些系统状态变化的规律,在此基础上,应用各种工程技术手段,建立适宜

的方法和装置,以最有效的途径,人为地控制这种变化,以达到预定目标。生物医学工程学的根本任务在于保障人类健康,为疾病的预防、诊断、治疗和康复服务。生物医学工程在 20 世纪 60 年代初期成为独立学科,70 年代初期引入我国。生物医学工程在美国、日本、法国发展非常迅速,近 20 余年来这门学科在我国也得到了很好的发展,受到各方面的重视。

生物医学工程包括以下内容:

1. 生物力学

生物力学主要包括生物固体力学(结构力学、牙及骨组织力学等)、生物流体力学、生物流变学、动力学等。

2. 生物医学材料

生物医学材料包括高分子材料、无机非金属材料、金属材料、复合材料及生物活性材料,用于制作各种人工脏器。生物医学材料的研究,除材料之外,还包括这些材料的性能测试、消毒和加工工艺等。

3. 人工脏器

人工脏器是指采用人工方法和生物医学材料,模拟人体各种脏器的功能研制而成的各种脏器。其目的是代替人体脏器的部分功能或全部功能,以治疗疾病和挽救生命。人类最早应用的人工脏器是人工牙,即假牙,又称义齿。现在的人工脏器还有人工心脏、人工心脏瓣膜、人工心肺机、人工肾、人工血管、人工肝、人工胰、人工关节、人工喉、人工晶体及假肢等。

4. 生物医学信息

生物医学信息研究的是对生物(包括人体)的各种信息的检测、传递、记录、处理及储存。它在医学研究和临床应用中均占有十分重要的地位。其内容包括甚广,主要有以下几个方面:

(1) 生物医学电子技术:它包括生物的各种生理信息和作用于生物体的电刺激。例如用各种电极直接检测细胞电位、心电、脑电、肌电、视网膜电等,借以研究其功能。除上述直接检测生物电的参数外,还可采用适当的换能器,将生物、人体的各种物理参数转换成电信号,如检测血压、心音、脉搏、脉象、呼吸、体温、血流量等,将电信号经过放大、传递、处理、记录,成为医学和临床上有价值的信息,如临床上常用的心电图、心音图、脑电图、脉象图、血流量和流速,以及心脏起搏器等。

(2) 医用成像技术:成像技术是近几年来随着科学技术的快速发展而发展起来的,如当前已用于临床的 X 线断层扫描(CT)、B 型超声切面显像和磁共振成像等。

(3) 临床生化分析技术:生化分析技术是指采用化学和物理学方法,对人体的血液、尿液及其他体液等进行成分分析的技术。最常用的方法有光学方法和电化学方法。例如临床上测血糖、胆固醇用的光学方法。同时,以上方法也可用来测定人体口腔唾液的钙、磷、镁含量及其参数。

总之,医学信息的检测方法甚多,有光学、电学、磁学、力学、热学、超声、射线及临床综合

检查等。

5. 人体内物质和能量的传递

生物物质(质量)传递,是研究各种质量在人体内传递的机制和过程。它包括气体、液体在体内的扩散、渗透的规律等。例如人的呼吸过程,是肺通过血液循环,将二氧化碳排到体外,又吸进新鲜氧气,把氧气带到全身,这就是质量传递的过程。

生物能量传递是研究能量在生物、人体内传递的机制和过程。能量包括声、光、电、磁、热、放射线等。例如研究微波诊断和治疗肿瘤,就是利用微波能量在人体内传递,对生物组织产生热效应,从而达到治疗肿瘤的目的。口腔科开展微波治疗口腔肿瘤和唇癌已取得良好效果。能量传递的研究也包括各种能量的安全防护。

6. 生物控制

生物控制是指自动控制的概念和方法在生物医学中的应用。生物控制有最佳控制和应急控制。从生物体来说,可通过反馈系统和感觉神经系统进行控制,例如健康人分泌胰岛素的量是根据血糖浓度自动调节的。当胰腺的内分泌功能障碍而患糖尿病时,胰岛素分泌不足,则血中葡萄糖大量增加,血糖升高,对此可定量注射胰岛素进行治疗,但无法控制血糖浓度的正常值,因此,人们就研究用自动控制原理和生物反馈方法,采用酶电极连续测定血糖浓度,由微机自动控制胰岛素注入量,使血糖浓度控制在生理范围内。

7. 新技术的应用

新技术的应用主要是指将自然科学、工程技术上出现的新技术应用于各种生物医学,或者将新技术研制成各种生物医学仪器。其内容包括很广,例如电子计算机、激光、光导纤维、高能粒子、低温或遥测等新技术的应用,特别是电子计算机技术的应用,使放射诊断技术发生了革命性的飞跃,CT的研制成功即是例子。尚有利用光导纤维的导光、导像特性,研制成的各种内镜,能直接观察病灶,并可取出病变组织,进行病理学镜检,从而确定疾病的诊断。例如现用于临床观察消化道病变的食管镜、胃镜、十二指肠镜、结肠镜及用于口腔医学领域的颞颌关节内镜等;此外尚有口腔医学研究及临床应用的龈沟液流量仪、MBF-I型殆力仪,虽未采用光导纤维,但采用了电子技术和电子计算机技术。通过上述仪器的应用,明显提高了全身疾病和口腔疾病的诊断正确率,并减轻了患者的痛苦。其他诸如激光治疗口腔癌症、激光预防牙齿的龋坏、激光手术刀等,对医学科学的发展都起到了很大的促进作用。

总之,生物医学工程是一个新技术领域,它几乎吸收和利用了所有的高新技术。生物医学工程的研究是人们利用现代科技成果,探索防病治病的新途径,以达到保健与延长人的生命的目的。生物力学是生物医学工程的重要组成部分,二者具有非常密切的关系。

二、生物力学的研究内容

生物力学主要研究人和动物身体各部分的运动形态;血液及其他体液和气体流动等的力学,以及与之相联系的控制器官的力学功能;内力和外力对于运动或静止状态的人体和动

物的影响;生物材料的力学性能等。作为生物力学学科,其基础内容为大量的基础研究。具体地说,就是应用力学的概念、理论、方法了解和确定生物组织和器官的力学性质和作用规律。结合力学和医学、生理学方法,研究生物体的力学特性与功能特性之间的联系及生物体的力学表现的生理、病理效应,建立用于诊断、治疗、修复、矫治、护理等方面的生物力学原理、方法、装置、评价和优化等方面的系统知识,这是生物力学的核心部分,而生物力学的主要目的在于建立生物功能的力学基础。

生物力学的研究是从生物体材料力学性能的研究,发展到对人工材料的研究;从对生物体结构在受力和动作时的作用方式和规律的研究,发展到在相关工程技术中的模拟和应用问题的研究。我们现在研究的生物系统是经历了千万年的演化优选发展起来的。例如,对人骨骼的许多研究表明,骨是多相性的、非均匀性的、各向异性的、多孔性的一种材料。骨的应力-应变关系是非线性的、黏弹性的,其本构关系是十分复杂的,即它的载荷与变形之间有着非线性的关系,且与时间有关。

生物力学的研究内容包括以下几个方面:

(一) 生物固体力学

生物固体力学主要是研究人体的牙齿、骨骼、关节、脊柱和软骨的力学性能。人工关节和人工牙的设计,各种颌骨和牙齿缺损、缺失牙修复体和牙颌畸形矫治器的设计,以及人工牙、支持牙生理功能的力学效应,就是应用生物固体力学原理,根据人体各部位在不同状态时的受力情况进行研究分析的。

此外,还可利用固体力学原理研究正常人体各组织器官的力学性能,例如牙齿、颌骨、关节的形态及其与功能的关系;人们日常咀嚼食物时咬合力的传递方式、殆力的分布等。

(二) 生物流体力学

生物流体力学主要是研究人体的呼吸系统和循环系统等力学性能。例如医学上研究人体胆结石形成机制,就是应用流体力学原理。因为胆汁进入胆囊时是一种阵发性射流,在胆囊内产生旋涡运动,使胆囊中心形成负压,所以胆汁中的成石物质向心运动,聚积成结石核心。根据这一原理,结石的形成已在体外人工模拟成功。

此外,血液、淋巴液在人体内的流动、循环均属流体力学研究内容,与之有关的生物流变学等也属其研究范围。

(三) 生物材料力学

生物材料包括高分子材料、无机非金属材料、金属材料、复合材料及生物活性材料等。这些材料主要用于制作各种人工脏器。例如用于制作人工牙、人工关节的金属材料有不锈钢、钛及钛合金、钴/铬/钼合金;非金属材料有氧化铝陶瓷、磷灰石陶瓷、四氟云母陶瓷、碳、尼龙和复合树脂,以及高密度聚乙烯等。此外尚有高分子材料——聚甲基丙烯酸甲酯亦是制作人工牙最常用的材料,且用量较大。用于人工肾透析器的合成高分子材料有赛璐玢、聚

甲基丙烯酸甲酯、聚砜、铜仿、黏胶纤维等,用于人工心脏瓣膜的生物组织材料有牛心包和猪心瓣等。生物医学材料的研究内容甚多,随着科学技术的发展,新的生物材料将层出不穷,造福人类。

(四) 生物动力学

讨论力和运动关系的力学称动力学(dynamics)。研究生物体力和运动关系的力学称生物动力学。生物动力学研究人体由于力的作用而产生的位移、位移的速度和加速度。例如,人的牙齿由于它的排列和解剖生理结构的特点,当咀嚼受力时,在正常生理状态下,可产生近、远中向及殆、龈向的位移。但这种位移量很小,用肉眼看不出,可采用一定的测试手段进行测试,测出其位移量。例如,超声波、激光全息干涉技术等均可测出牙的位移量,国内外学者已进行了这方面的研究,并获得了满意结果。

循环动力学又称血流动力学。循环系统由泵(心脏)、动脉、静脉(传输网络)和微循环(毛细血管、淋巴管)组成。其功能行为涉及血液流动、血管和血细胞变形。研究循环动力学的生物力学,必须从分子、膜、细胞水平到单微管、分支点、微血管网络、大动脉水平系统地了解循环系统的各部分,从而建立正常循环功能的生物力学,在此基础上可进一步阐明各种循环系统疾病的病理学、生理学的机制,为疾病的诊断、治疗、预防提供理论依据。

第二节 口腔生物力学的发展概况

生物力学是力学与生理学、医学等学科之间相互渗透的边缘学科,它用经典力学、固体力学、流体力学的知识来解释生物的某些现象。用力学的方法定量地分析研究生命系统的功能与形态结构的关系。口腔生物力学是在生物力学的发展中开创和发展起来的。

一、生物力学的发展概况

生物力学很早就受到科学家的注意。早在1615年Harvey发现了血液循环,是个“理论”的结论。Malpighi(1661)发现微血管,是他解剖青蛙肺的时候,看到了微血管的存在及其中的血流。

著名的物理学家伽利略,找到了钟的摆长与周期的定量关系,他用摆来测定人的心率,摆长即可表达心率。

意大利的数学家和天文学家Borelli(1608~1679),在其著作《论动物的运动》(1680)中,阐明了肌肉的运动和动物的自身运动问题,并研究了鱼游和鸟飞、心脏和肠的运动。

Young是一位英国医生,当他看到三棱镜分光为彩色光谱时,创造了光的波动理论,还建立了声带发音的弹性力学理论。杨氏模量(即弹性模量)就是由此而提出的。流体力学家Poiseuille,当他还是一位医科学学校的学生时,就发明了用水银计来测量犬主动脉的血压,并发现了黏性流体在直圆管中的压力差与流量的关系,后人称之为Poiseuille定律。

von Helmholtz是Königsberg大学的生理和病理学教授、Bonn大学的解剖和生理学教授、柏林大学(1871)的物理学教授。他发现了眼的聚焦机制,发明了晶状体镜,并用来研究

眼球内晶状体的变化,以及用眼底镜来观察视网膜。他研究了听觉的机制,发明了 Helmholtz 共振仪。他的涡量守恒定理是流体力学的基础。他在光学、声学、热力学、电动力学、生理学和医学上都做出了重大贡献。

Frank 提出了心脏流体力学理论。Hales 测量了马的动脉血压,并寻求血压与失血的关系,建立心室处于舒张压时的模型,通过模型体积测量估计心排血量和心肌力。

Krogh 由于对微循环的贡献而获得诺贝尔奖,Hill 因肌肉力学的研究获诺贝尔奖,以上研究成果和贡献为生物力学奠定了良好的基础。

生物力学具有理论和实践的意义,现代技术给生物力学提供了必要的手段,特别是 20 世纪 60 年代后,电子计算机开始用于医学,为生物力学开辟了新的前景,近几年来发展很快。人类即将进入生命科学的时代,有可能人为地控制生命。

自从 1960 年美国召开第一届仿生学讨论会以来,生物力学引起了人们的广泛注意和研究。美国、日本、前苏联、澳大利亚、加拿大等国均建立了专门研究机构,经常召开国际会议,十分活跃;意大利学者 Natali 于 2003 年出版专著《Dental Biomechanics》,说明国外口腔生物力学的研究在不断发展。

我国的生物力学研究虽然开始较晚,但发展速度很快。1978 年全国力学规划会议将生物力学作为力学的一个分支列入规划中,1979 年 11 月在重庆召开全国高等学校生物力学座谈会;1980 年 11 月在北京召开我国第一届生物医学工程会议,生物力学引起了与会者的重视;1981 年在上海举行全国第一届生物力学会议,研究工作的广度和深度均有显著提高;1983 年在武汉召开了国际生物力学会议,这次交流对我国生物力学的发展起到很大的促进作用;1996 年赵云凤教授主编的《口腔生物力学》专著出版,作为口腔专业研究生教材及口腔医师的参考书,使口腔各科医师逐渐建立了用力学观点对患者进行诊治及修复设计,提高了基础理论水平和医疗水平。

二、口腔生物力学的发展概况

口腔生物力学的内容非常丰富和广泛,为了更系统、详细地说明其发展情况,下面主要从以下几个方面介绍:

(一) 牙颌关节组织结构力学性质研究情况

早在 1880 年,Messerer 采用液压装置研究人体下颌骨整骨极限强度,说明其强度与年龄、性别有关。Black(1895)测量牙本质强度为 257MPa,弹性模量为 6GPa。盐田重利(1959)曾用弯曲试验测试下颌骨皮质骨弹性模量,新鲜骨为 11.34GPa。Tyldesley(1959)用四点弯曲法获得牙本质的比例极限为 66.19MPa,强度为 266MPa,弹性模量为 12.3GPa。Peyton(1952)通过实验研究牙本质小管方向与弹性性质的关系,证明牙本质是各向异性材料,此观点为 Rasmussen(1976,1984)进行的牙本质的断裂力学研究所支持。

Craig、Peyton(1960)等测定人牙釉质压缩弹性模量是 84.199GPa。Rech、Brendan(1967)测人牙釉质泊松比为 0.3。Thresher 等(1973)采用二维有限元法研究上颌中切牙受侧向力时的应力分布,绘出了不同截面的应力传递图。Renson(1975)用剪切法测定牙本质

剪切模量为 6.19GPa,并测试计算出前、后牙冠根牙本质的泊松比为 0.025~0.26。

Yettram(1976)分析外力作用对下颌第二前磨牙牙体内的应力状况,认为牙釉质的应力大于牙本质,位于釉牙本质界和釉牙骨质界处的牙釉质有较高的应力,牙体沟裂处有高的拉应力。Craig 等(1978)用应力应变图法测试下颌骨弹性模量为 13.8GPa。

Takahashi 等(1980)分析不同载荷作用下牙周膜的受力反应,发现牙齿颈部牙周膜应力最大,根尖次之,根尖 1/3 处最小。Standlee、Caputo 等(1981)用三维光弹实验应力分析法研究在各种殆力作用时,下颌髁状突的应力分布情况。Carter(1983)报道根管治疗后的牙,牙本质剪切强度和韧性低于活髓牙,说明根管治疗影响牙齿的强度。Reinhardt(1984)考察牙槽骨高度变化对牙周支持组织的应力影响,发现当牙槽骨减少 60%时,牙周膜应力增大 2.85 倍。周书敏(1984)发现牙槽骨高度减少 1/3 时,牙周支持组织应力明显增大。吴瑞琪、赵云凤、叶德临等(1986)用激光散斑法和电测法测定中国人牙本质弹性模量为 19.613GPa。刘寒冰(1987)对下颌骨结构作有限元分析,显示主应力线与下颌骨骨小梁排列方向一致。Tanne、Farah (1988)对颅颌系统及牙列完整的下颌骨作有限元分析,提出加载条件是影响应力分布的重要因素。陈新民、赵云凤(1989)用弯曲试验测试下颌新鲜骨,其弹性模量为 12.29GPa。叶德临、赵云凤、杜传诗(1990)测中国人牙釉质拉伸弹性模量为 2.3717×10^4 MPa,泊松比为 0.246。

刘飞、赵云凤(1999)在国内首次建立成年 Wistar 大鼠正常咬合力、咬合力丧失、咬合力代偿性增强的动物模型。采用 HE 染色法、免疫组化、原化杂交技术从组织形态学、蛋白表达水平和转录水平研究牙周膜(periodontal ligament, PDL) I 型胶原与转移生长因子 β_1 (transforming growth factor- β_1 , TGF- β_1)、碱性成纤维细胞生长因子(basic fibroblast growth factor, bFGF)表达的动态变化,揭示了咬合力影响 PDL 改建的分子基础,以及咬合力对 PDL I 型胶原 mRNA 表达的分子机制。本研究提示:在义齿修复中,基牙的受力状况很重要,如设计不当,基牙受力过大,将影响牙周膜分子水平的改建,使牙周膜 I 型胶原 mRNA 表达水平下降,甚至可发生不可逆下降,导致牙周膜内代谢平衡和结构的破坏。但当咬合力增大时,初期虽抑制牙周膜 I 型胶原 mRNA 的表达,牙周膜可很快适应这种改变, mRNA 表达水平迅速回升,说明牙周膜可在一定范围内耐受高于生理状态的咬合力。然而从口腔义齿修复设计的分子水平力学观点出发,义齿的修复设计必须合理分配咬合力,使基牙承受的咬合力在其生理范围内。

袁林、赵云凤(1999)应用免疫组化、原位杂交技术探讨不同咬合力状态下,牙周组织中白细胞介素-1、白细胞介素-6、前列腺素、肿瘤坏死因子- α 的动态变化,揭示了破骨因子在咬合力的作用下,对牙周组织改建的分子机制。本研究提示:咬合力丧失和增强,均诱导牙周膜成纤维细胞和破骨细胞表达白细胞介素-6 mRNA 明显增加,参与了牙周膜的降解和牙槽骨的吸收,而且咬合力增强还诱导了成骨功能的增强。

上述分子水平的初步研究为口腔生物力学微观研究奠定了基础。

陈新民(1999)首次采用流式细胞仪研究机械拉伸力对人牙周膜成纤维细胞 DNA 合成和细胞周期的影响,发现细胞受力 2 小时即可出现明显的增殖活性,6 小时达到高峰。其中以 2% 拉伸应变促增殖作用最明显。机械拉伸应变 0.5%~0.8% 时,对人牙周膜成纤维细胞 I 型胶原合成无明显影响;1%~8% 拉伸应变可使细胞合成总蛋白减少,提示机械拉伸力可改变细胞外基质成分,说明在机械力的作用下,细胞外基质成分发生相应改变,以适应特

殊的力学环境。该研究为口腔生物力学的细胞力学研究开创了新的途径。

(二) 冠、桥应力的研究情况

Noonan(1949)首先对牙的应力采用光弹性方法进行研究,提出在模型上测定应力应变的有效方法。Mahler(1955)考虑到修复体的设计受牙齿形态结构的限制,为防止牙体内部应力使修复体(嵌体、部分冠)失败而进行牙冠应力分布的研究,为修复体的设计提供依据。Craig(1967)用光弹性方法研究全冠修复体表面应力分布,提出当将牙尖制备成圆形时,可避免制备后的牙齿产生大的压应力,说明尖锐的部位是应力集中的区域。Craig(1965)用脆漆法研究固定桥的表面应变情况,提示应力大小及应力方向与外力的作用部位、力的大小,以及桥体本身的长度和跨度有关。

EI-Ebrashi(1970)用二维光弹法比较3种不同设计的固定桥,当双端固定桥承受多点载荷时,拉应力和压应力区域交替出现,固定桥的连接体处显示出高的拉应力及剪应力,单端桥则更加明显。Farah(1974)用二维有限元法对全冠不同制备的颈缘形态进行应力研究,提出凹面型(chamfer form)的颈缘应力分布较均匀。Fisher(1975)对嵌体和高嵌体制备的牙体,进行光弹应力分析,实验结果指出:高嵌体因覆盖整个制备体的咬合面,其应力最小,从而对基牙(制备体)有保护作用。Hood(1975)用二维光弹性方法研究改良卫生固定桥桥体表面应力,发现增厚的连接体处的剪应力明显降低。Takahashi(1978)采用有限元方法对下颌固定桥应力分布进行研究,发现垂直载荷时,固定桥受载后有下沉趋势,前磨牙基牙的应力值比磨牙基牙高。

花村典之(1984)用光弹性实验方法研究桩冠的应力,结果表明在桩冠的颈部和根尖区应力较集中,此处易于折断。尹亚梅等(1986)用二维有限元法对下颌第一磨牙缺失的固定桥受载的应力进行分析,提出修复后前磨牙基牙的应力有所增加,磨牙基牙的应力分布均匀,而固定桥桥体连接体处的应力集中。赵云凤等(1989)用有限元法对下颌第一磨牙缺失的固定桥进行7种加载方式的定量应力分析,包括垂直加载和斜向加载,结果表明垂直向加载或斜向加载,前磨牙基牙的牙周组织的应力均较磨牙基牙的牙周组织的应力大。

唐亮、赵云凤(1991)用三维有限元法分析固定桥基牙牙周膜及桥体黏膜和牙槽骨的应力,结果表明固定桥受水平向加载时,牙周膜的应力值为垂直向加载的4倍,应力集中在颈部。磨牙牙周应力为前磨牙的 $1/3 \sim 1/2$,应力分布均匀,故磨牙是理想的固定桥基牙。同时发现,加载方向不仅可以改变应力值的大小,还可以改变应力的分布规律。当固定桥桥体受载时,垂直载荷,桥体下黏膜产生压应力;水平向载荷,则产生拉应力和压应力。朱智敏(1992)用三维有限元法对下颌第二磨牙缺失的单端固定桥作应力分析,提出这种单端固定桥修复是可行的,但必须增加桥基牙。

唐亮等(2000)对下颌后牙固定桥不同桥体类型支持骨应力进行有限元分析,结果显示改良鞍式、改良盖嵴式、盖嵴式的应力分布相似;接触面积较大者,皮质骨应力小,结论认为不同桥体类型对桥体下组织影响不大。

王华蓉等(2007)用有限元法分析下颌第一磨牙全瓷冠的应力分布,考察单层冠和底层-饰瓷复层结构有无差异。结果表明两种全瓷冠的结构不同,但对应力分布无明显影响,最大应力位于加载点周围,瓷冠内应力大,牙本质应力较小。