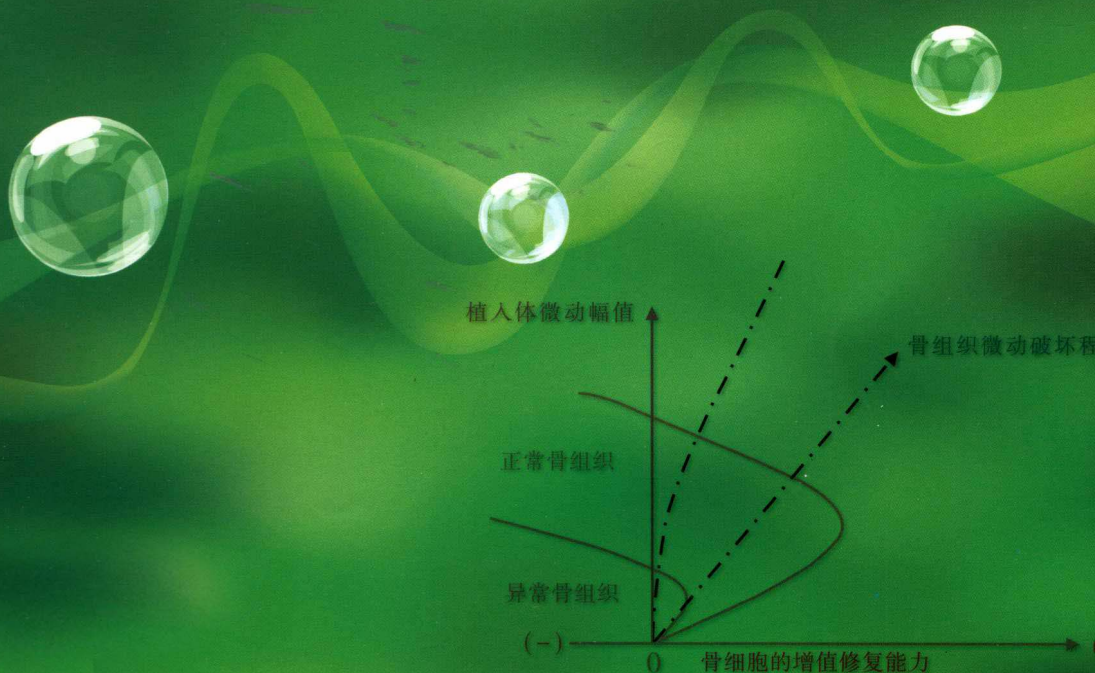



全国高等医药院校研究生教材

# 口腔生物力学

■ 主 编 于海洋



 人民卫生出版社

全国高等医药院校研究生教材

# 口腔生物力学

主 编 于海洋

人 民 卫 生 出 版 社

## 图书在版编目(CIP)数据

口腔生物力学/于海洋主编. —北京:人民卫生出版社, 2012. 2

ISBN 978-7-117-15325-6

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

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 275198 号

门户网: <a href="http://www.pmph.com">www.pmph.com</a>	出版物查询、网上书店
卫人网: <a href="http://www.ipmph.com">www.ipmph.com</a>	护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

版权所有, 侵权必究!

## 口腔生物力学

主 编: 于海洋

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](mailto:pmph@pmph.com)

购书热线: 010-67605754 010-65264830

010-59787586 010-59787592

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 787×1092 1/16 印张: 24 插页: 2

字 数: 599 千字

版 次: 2012 年 2 月第 1 版 2012 年 2 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 978-7-117-15325-6/R · 15326

定 价: 53.00 元

打击盗版举报电话: 010-59787491 E-mail: [WQ@pmph.com](mailto:WQ@pmph.com)

(凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换)

编者 (以姓氏笔画为序)

- 于海洋 (四川大学华西口腔医学院)  
王 杭 (四川大学华西口腔医学院)  
王 航 (四川大学华西口腔医学院)  
邓 锋 (重庆医科大学口腔医学院)  
刘伟才 (同济大学口腔医学院)  
李 宇 (四川大学华西口腔医学院)  
李 娟 (四川大学华西口腔医学院)  
李长义 (天津医科大学口腔医学院)  
宋锦璘 (重庆医科大学口腔医学院)  
张东升 (上海大学)  
张春香 (四川大学华西口腔医学院)  
陈新民 (四川大学华西口腔医学院)  
罗 云 (四川大学华西口腔医学院)  
赵志河 (四川大学华西口腔医学院)  
高姗姗 (四川大学华西口腔医学院)  
康 宏 (兰州大学口腔医学院)  
章非敏 (南京医科大学口腔医学院)  
程 辉 (福建医科大学口腔医学院)  
谭理军 (四川大学华西口腔医学院)

秘 书 黄盛斌 (四川大学华西口腔医学院)

# 序

力学是一门古老而富有生命力的学科。生物力学是解释生命及其活动的力学,是力学与医学、生物学等学科相互结合、相互渗透、融合而形成的一门交叉学科。生物力学对于探索生命特别是医学的发展起到了重要的作用,早在17世纪Borelli《论动物运动》,18世纪Hales、19世纪Frank的关于动脉系统动力学的成果,19世纪Wolff通过骨力学研究提出的关于骨重建和生长的Wolff定律直到今天都在指导着心血管、骨、口腔等领域的医学实践。今天,生物力学已发展成为从生物个体、器官、组织到细胞乃至分子等不同层次研究生命中应力与运动、变形、流动乃至生长关系的重要学科,对于生命科学、医学、生物医学工程学以及生物医学工程新兴产业发挥了重要作用。

生物力学与口腔医学的交叉、融合,形成了口腔生物力学。它用生物力学的概念、方法和手段研究口腔医学中的有关基础性科学问题、解决口腔医学中的临床实际问题、发展口腔临床技术手段。在口腔医学中正畸学、修复学、种植学及口腔颌面外科等领域均存在着大量的生物力学问题。事实上,口腔生物力学已成为口腔医学的重要基础性和应用基础学科之一。

近年来,我国口腔生物力学研究在牙颌系统有限元应力分析、细胞力学及生物摩擦学等领域取得了长足的进步,主编于海洋教授在前版经典口腔生物力学内容的基础上,以较大篇幅增加了口腔生物力学新的相关研究内容,以器官、组织及细胞为线,密切结合口腔各三级学科,既包括了国内主要课题组的最新研究成果、最近进展,也融入编者们的自己的最新研究成果,编著了这本研究生教材《口腔生物力学》,呈献给广大读者。该书提供了大量的与临床、科研工作相关的参考证据,并同时为口腔生物力学的持续发展提供了大量、翔实的口腔临床背景资料。我相信它的出版必将对我国口腔生物力学研究工作者、口腔临床医生及口腔医学研究生有所帮助,对促进我国口腔生物力学的发展作出贡献。

我作为一名从事并关注我国口腔生物力学发展的生物力学学者,对此书的出版感到高兴,谨向参与本专著写作的人员致以敬意和祝贺,并祝愿我国口腔生物力学研究更上一层楼!

中国生物医学工程学会理事长  
北京航空航天大学生物与医学工程学院院长  
樊瑜波 教授  
2011年12月


# 前 言

生物力学是探究生命及其活动中力学现象、力学本质的科学,是力学与医学、生物学、材料学、工程学等学科相互渗透融合而形成的一门交叉学科。近 20 年来国内外生物力学发展迅速,已成为力学学科中发展最快的分支之一。生物力学与口腔医学的交叉融合,探究口腔医学领域内面临的共性或特殊性的力学问题 and 对策,就形成了口腔生物力学。随着学科的发展成熟和口腔医学教育发展完善,口腔生物力学已成为我国口腔医学教育、科研及临床实践中不可或缺的重要专业基础学科之一。

德高望重的前辈赵云凤教授主编的《口腔生物力学》详尽地阐述了经典的基础理论和口腔临床方面的应用,而随着新研究方法和手段的出现,尤其是在口腔医学中应用细胞层次的生物力学理论和方法已成为口腔生物力学研究和应用的大趋势之一,同时作为具有咀嚼功能的器官,其摩擦磨损等生物摩擦失效机制的研究和应用具有较高的实用价值。而有限元法在口腔医学中的应用已有二十几年的历史,以前也未列入第一版的内容。因此有必要在前一版经典内容的基础上,与时俱进重新编排策划该版口腔生物力学专著。

为使《口腔生物力学》满足现实中研究生教学需求及代表学科现状,体现口腔研究生教材必须具备的思想性、科学性、先进性、启发性和适应性,在编写大纲形成前,广泛征求全国各主要口腔医学教学单位关于前一版教材的使用意见,并结合国内外口腔生物力学教学现状,力求突破教材特征,突出重点,尽量反映现在口腔生物力学发展的新知识、新技术、新科研成果。在章节安排方面,应用细胞、组织及器官层次的生物力学理论和方法研究口腔医学各学科的生物力学问题,分析口腔功能过程中的各种力学现象与力学过程,进一步揭示生命活动过程的特点和本质,梳理口腔疾病防治中生物力学的理论和方法,新增了口腔细胞生物力学及口腔生物摩擦学两部分的内容,并在生物力学新进展、新技术、新方法在口腔疾病诊断和治疗以及科学研究中的应用等方面都做了全面的阐述。

全书分为九章。首先介绍了生物力学及口腔生物力学研究内容、发展状况、研究方法及对医学的贡献。在“口腔生物力学基本概念和定义”一章中着重介绍了口腔生物力学涉及的相关学科的核心理论、概念及结构因子。第三章主要针对口腔细胞生物力学进行了系统的阐述,从细胞及分子水平研究口腔生物力学现象,揭示其本质。在“口腔组织生物力学”一章中着重介绍了口腔软硬组织的结构功能特点,基本生物力学性质。在“口腔天然器官生物力学”一章中,介绍了髁与颞下颌关节生物力学、牙颌面畸形矫治、牙周病矫治及口腔颌面部外



科诊治过程中生物力学机制及矫治效果分析。在“口腔人工器官生物力学”一章中着重介绍了口腔固定修复、活动修复及种植义齿的生物力学研究,针对义齿修复的结构力学、支持力学、稳定力学进行系统分析,同时介绍了义齿设计的生物力学原则及功能恢复的力学关系。在“口腔材料生物力学”中简要地介绍了口腔内科、修复及正畸材料的生物力学性能,并在第八、九章中详细阐述了口腔生物力学常用试验方法。

为了让读者更多地了解有关知识并追踪其来源,在本书的每章节后增加了一些主要参考文献。

无疑,由于编写过程中限于编者的因素和客观上存在的困难,书中难免有许多疏漏、粗浅甚至谬误之处,还恳请各院校同道和读者斧正,以便再版时改进。

于海洋

2012年1月于华西坝

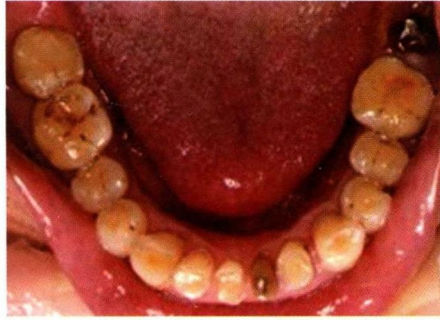
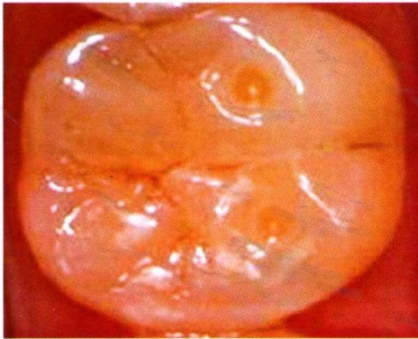


图 4-13 夜磨牙导致前牙区牙齿过度磨损



(1)



(2)

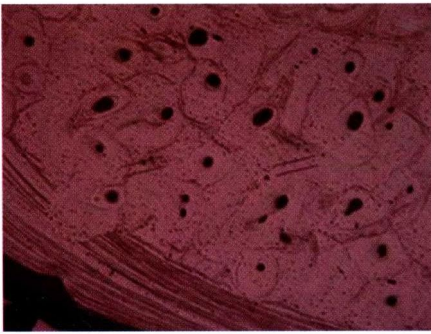
图 4-14 酸蚀引起的典型的牙体组织损伤

(1)酸蚀导致的咬合面的损伤;(2)酸蚀导致的牙齿颈部的损伤

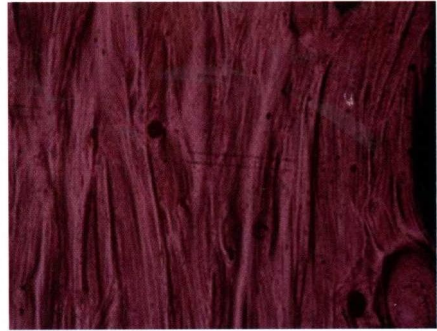




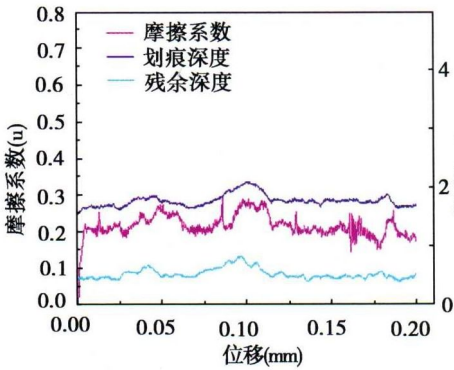
图 4-15 胃反酸引起的上颌前牙腭侧牙体组织的酸蚀



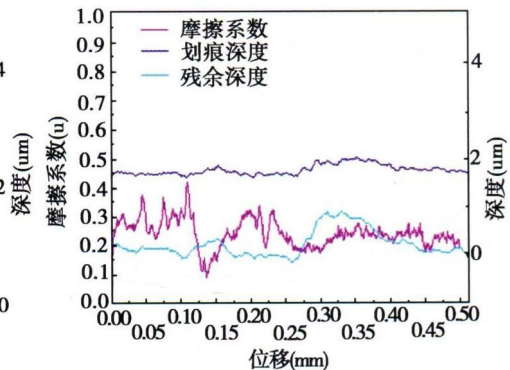
(1)



(2)



(3)



(4)

图 4-24 不同断面纳米压痕测试及结果

(1)横断面的划痕形貌;(2)纵断面的划痕形貌;(3)横断面的划痕摩擦系数;(4)纵断面的划痕摩擦系数

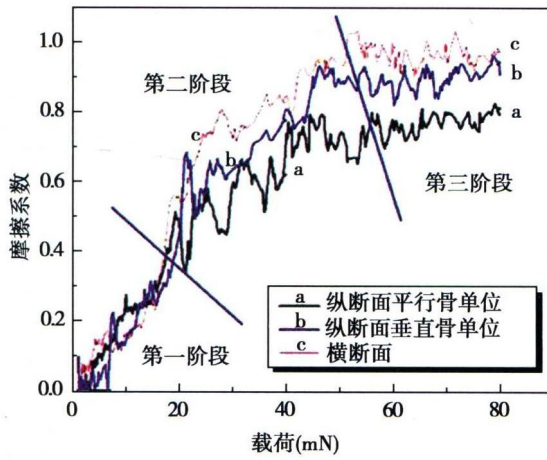


图 4-25 摩擦系数在三个不同方向的发展变化

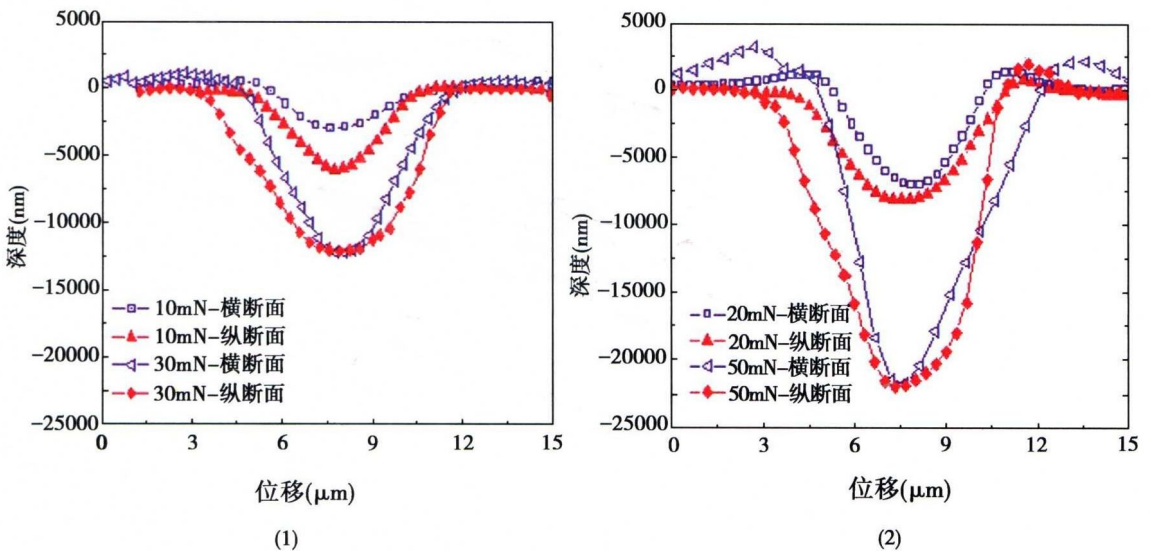


图 4-26 两断面的残余深度和宽度

(1)低载荷;(2)高载荷

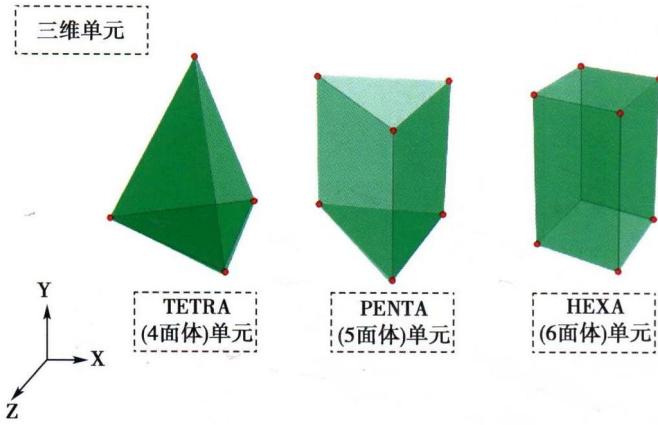


图 9-7 三维实体单元示意图

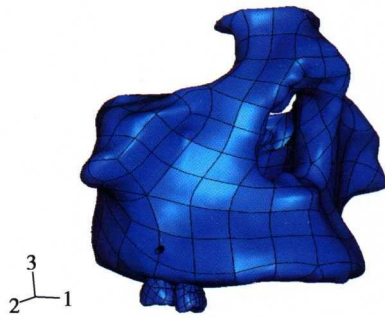


图 9-18 二维及三维混合网格划分

# 目 录

第一章 概论	1
第一节 生物力学研究的内容	1
一、生物力学的概念	1
二、生物力学研究的内容	2
三、口腔生物力学的研究内容	3
第二节 生物力学研究的方法	4
第三节 生物力学的发展概况	6
一、生物力学产生及发展状况	6
二、口腔生物力学发展状况	7
第四节 生物力学对医学的贡献	9
一、生物力学对医学的贡献	9
二、口腔生物力学对口腔医学的贡献	11
第二章 口腔生物力学的基本概念和定义	14
第一节 刚体静力学基本概念及公理	14
一、力的概念	14
二、刚体的概念	14
三、静力学公理	15
四、约束与约束反力	17
五、受力分析与受力图	20
第二节 变形体力学基础	20
一、变形固体及其基本假设	20
二、外力与内力	21
三、应力	23
四、应变	24
五、应力应变关系	25
第三节 材料的基本变形	26
一、轴向拉伸与压缩	26
二、剪切	28

三、扭转 .....	29
四、弯曲 .....	32
五、组合变形 .....	37
<b>第四节 材料的力学性能</b> .....	39
<b>第五节 生物材料的黏弹性</b> .....	41
一、黏弹性特点 .....	42
二、黏弹性的力学模型 .....	43
<b>第六节 生物摩擦学的基本概念及定义</b> .....	45
一、摩擦学的定义及内涵 .....	45
二、生物摩擦学的定义及研究对象 .....	46
三、口腔生物摩擦学 .....	47
<b>第三章 口腔医学中的细胞力学研究</b> .....	50
<b>第一节 细胞生物力学的概念及研究内容</b> .....	50
一、细胞生物力学的基本概念 .....	50
二、细胞生物力学的研究内容 .....	50
三、细胞的力学结构及力学特性 .....	50
四、细胞受力 .....	52
五、细胞形变 .....	53
<b>第二节 口腔医学中的细胞力学研究进展</b> .....	54
一、牙髓干细胞生物力学研究进展 .....	54
二、牙周膜细胞生物力学研究进展 .....	56
三、骨髓间充质干细胞、成骨细胞、破骨细胞的生物力学研究进展 .....	65
四、口腔成肌细胞的生物力学研究 .....	72
五、软骨细胞的生物力学研究 .....	74
<b>第三节 口腔医学中细胞力学研究新进展</b> .....	79
<b>第四章 口腔组织生物力学</b> .....	86
<b>第一节 牙体组织生物力学</b> .....	86

一、牙体组织的结构特点 .....	86
二、牙体组织生物力学实验方法 .....	91
三、牙体组织的基本力学性能 .....	94
四、牙体组织的各向异性性质 .....	97
五、牙体组织的断裂力学性质 .....	99
六、牙体组织微观力学性质 .....	102
七、天然牙的摩擦磨损行为 .....	103
八、科研立项参考 .....	110
<b>第二节 牙周组织生物力学</b> .....	111
一、牙周组织的结构及功能特点 .....	111
二、牙周组织的基本力学性质 .....	113
三、咬合力作用下牙周组织的改建 .....	116
四、科研立项参考 .....	117
<b>第三节 颌骨生物力学</b> .....	117
一、颌骨的结构和功能特点 .....	118
二、颌骨的基本力学性质 .....	120
三、颌骨的各向异性性质 .....	122
四、下颌骨的应力分布规律 .....	124
五、颌骨的强度和断裂 .....	125
六、颌骨的摩擦磨损性能 .....	127
七、科研立项参考 .....	133
<b>第五章 口腔天然器官生物力学</b> .....	138
<b>第一节 髁与颞下颌关节的生物力学</b> .....	138
一、颞下颌关节负重的生物力学分析 .....	138
二、关节软骨及其生物力学 .....	145
三、颞下颌关节盘生物力学 .....	151
四、颞下颌关节盘后组织、关节囊和韧带的生物力学 .....	153
五、髁的生物力学 .....	155

六、口腔骨-肌-关节系统的运动与受力分析 .....	158
七、科研立题参考 .....	161
<b>第二节 牙颌面畸形矫治的生物力学</b> .....	162
一、牙移动的生物力学 .....	162
二、矫形治疗的生物力学 .....	167
三、科研立题参考 .....	170
<b>第三节 牙周病及其矫治生物力学</b> .....	170
一、松动牙牙周组织改变及其力学分析 .....	170
二、牙周病矫治生物力学 .....	173
三、科研立题参考 .....	178
<b>第四节 口腔颌面外科生物力学</b> .....	178
一、颌骨骨折的生物力学研究 .....	178
二、下颌骨缺损重建接骨板修复的生物力学研究 .....	183
三、牵张成骨的生物力学研究 .....	184
四、正颌外科的生物力学研究 .....	185
五、骨生长发育的生物力学 .....	187
六、科研立题参考 .....	187
<b>第六章 口腔人工器官生物力学</b> .....	191
<b>第一节 固定修复生物力学</b> .....	191
一、充填修复与嵌体 .....	191
二、瓷贴面 .....	197
三、全冠 .....	201
四、桩核冠 .....	204
五、固定义齿 .....	208
六、科研立题参考 .....	218
<b>第二节 可摘义齿的生物力学</b> .....	219
一、可摘局部义齿的生物力学 .....	219
二、全口义齿的生物力学 .....	227



三、科研立题参考	231
<b>第三节 口腔种植体的生物力学</b>	231
一、种植体的生物力学相容性与影响种植体周围骨代谢的力学因素	231
二、种植体及上部结构设计的生物力学	234
三、种植体-骨界面的连接形式及生物力学	245
四、牙种植体-骨界面的微动摩擦学研究	249
五、科研立题参考	255
<b>第七章 口腔材料生物力学</b>	258
<b>第一节 口腔内科充填材料</b>	258
一、银汞合金	258
二、复合树脂	261
<b>第二节 口腔修复材料</b>	266
一、弹性印模材料	267
二、口腔科塑料	268
三、口腔科陶瓷	271
四、口腔科合金	277
<b>第三节 正畸材料</b>	281
<b>第四节 科研立题参考</b>	286
<b>第八章 口腔生物力学相关实验力学方法</b>	288
<b>第一节 传统口腔生物力学试验方法</b>	288
一、电测法	288
二、光弹性法	291
三、光测力学位移法	293
四、数字图像相关法	296
<b>第二节 口腔生物摩擦学试验研究方法</b>	297
一、体内研究	297
二、体外试验研究	299



三、原位试验·····	301
<b>第三节 口腔细胞力学实验研究方法</b> ·····	301
<b>第九章 口腔生物力学相关的理论力学方法</b> ·····	312
<b>第一节 有限元法与口腔生物力学研究</b> ·····	312
一、有限元法的起源与发展历史·····	313
二、有限元法的相关基本概念·····	317
三、有限元的基本思想和数学基础·····	321
四、与有限元研究相关的口腔生物力学基本假说和精确度·····	324
五、有限元模型的构建途径以及发展趋势·····	326
六、有限元网格划分基本原理解析·····	332
七、有限元法计算的基本步骤·····	335
八、有限元分析中的单位问题·····	342
九、有限元在口腔生物力学各领域的应用·····	346
十、有限元在口腔医学研究中的学习与应用展望·····	347
<b>第二节 无限元法与口腔生物力学研究</b> ·····	353
一、无限元法的理论基础·····	353
二、无限元法在口腔医学中的应用·····	354
<b>总结 口腔生物力学研究展望</b> ·····	356
<b>中英文名词对照索引</b> ·····	358
<b>英中文名词对照索引</b> ·····	364