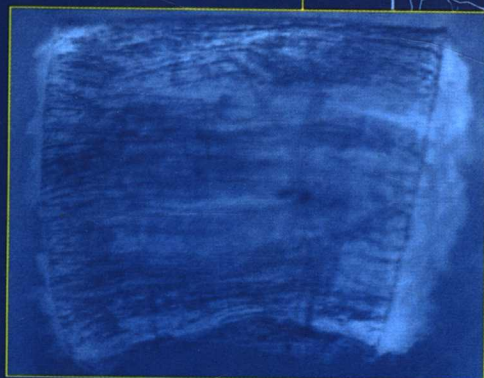
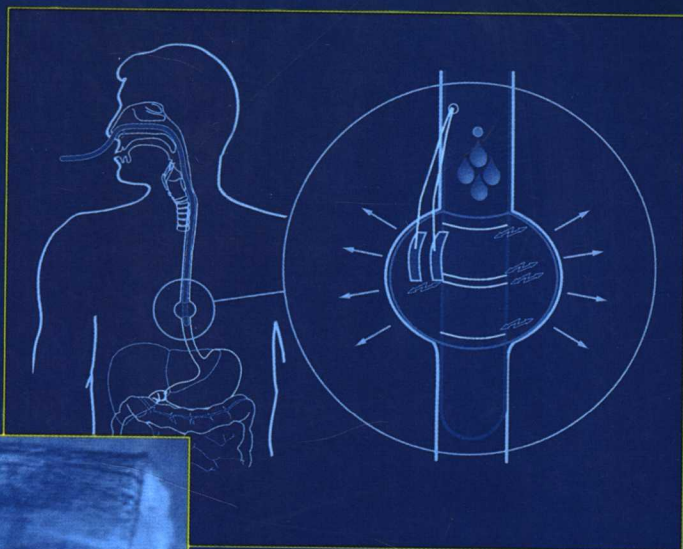


胃肠生物力学

—— 胃肠动力新视角

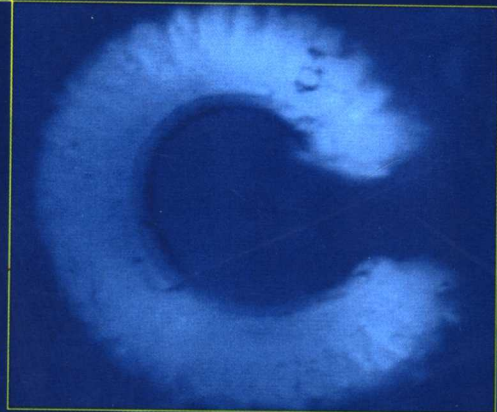
Biomechanics of the Gastrointestinal Tract



原著 Hans Gregersen

主译 樊艳华 王虹 窦艳玲

审校 柯美云 孙涛



 人民卫生出版社

胃肠生物力学

——胃肠动力新视角

Biomechanics of the
Gastrointestinal Tract

原 著 Hans Gregersen

主 译 樊艳华 王 虹 窦艳玲

审 校 柯美云 孙 涛

译 者 (按姓氏笔画排序)

王 虹 王 晨 王天佑 邓正海

李 浩 杜欣欣 张彦来 姜佳丽

周正文 高福生 窦艳玲 樊艳华

人 民 卫 生 出 版 社

胃肠生物力学——胃肠动力新视角

Translation from the English language edition:
Biomechanics of the Gastrointestinal Tract by Hans Gregersen
Copyright © Springer-Verlag London Limited 2003
Springer is a part of Springer Science+Business Media
All Rights Reserved

本书中文版版权归人民卫生出版社所有。

图书在版编目 (CIP) 数据

胃肠生物力学——胃肠动力新视角/樊艳华等主译.

—北京: 人民卫生出版社, 2006. 7

ISBN 7-117-07701-8

I. 胃… II. 樊… III. 胃肠系统-生物力学

IV. R322.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 058884 号

图字: 01-2005-6284

胃 肠 生 物 力 学 ——胃肠动力新视角

主 译: 樊艳华 等

出版发行: 人民卫生出版社(中继线 010-67616688)

地 址: 北京市丰台区方庄芳群园 3 区 3 号楼

邮 编: 100078

网 址: <http://www.pmph.com>

E - mail: pmph@pmph.com

购书热线: 010-67605754 010-65264830

印 刷: 北京铭成印刷有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 1000×1400 1/32 印张: 8 插页: 2

字 数: 307 千字

版 次: 2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 版第 1 次印刷

标准书号: ISBN 7-117-07701-8/R·7702

定 价: 30.00 元

版权所有, 侵权必究, 打击盗版举报电话: 010-87613394

(凡属印装质量问题请与本社销售部联系退换)

翻译人员名单

主译 樊艳华 王 虹 窦艳玲

审校 柯美云 孙 涛

参与翻译人员 (按姓氏笔画排序)

王天佑	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	主治医师
王 虹	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	主任医师、教授
王 晨	首都医科大学附属北京同仁医院	主任医师、教授
孙 涛	加拿大麦吉尔大学物理学博士, 现旅居美国	
姜佳丽	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	住院医师
高福生	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	住院医师
邓正海	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	硕士
李 浩	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	硕士
杜欣欣	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	硕士
张彦来	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	硕士
周正文	首都医科大学附属北京同仁医院消化科	硕士
窦艳玲	中日友好医院消化科	副主任医师 博士
樊艳华	中日友好医院消化科	主任医师 副教授

中文版序

近二十余年,胃肠动力学在国内外一直是研究的热点,人们对功能性胃肠病以及胃肠动力障碍性疾病的认识有了长足的进步,但仍有诸多问题尚不够清楚,研究者一直在探索新的研究方法。胃肠生物力学为胃肠动力研究提供了新的视角,是一门新兴学科。生物力学是将力学引进生物体,研究物体的变形和受力后的变形规律,用于解释生命器官的机械行为。生物力学在骨骼、心血管、呼吸系统以及泌尿系统等已有诸多的研究。根据生物力学的理论,管腔的形态和弹性特征对管腔脏器的输送功能有重要作用,生物力学特性在心血管和泌尿系统已显示其重要意义。同样地,消化道在内容物的储存和输送过程中无不存在着受力和变形,但消化道生物力学方面的研究起步较晚,近年来才引起重视。

丹麦奥尔堡大学医学院胃肠生物力学与感知研究中心的 Hans Gregersen 教授,近十余年来和他的研究小组潜心研究胃肠生物力学,进行了系列试验,涉及食管、小肠、大肠、胆管等,所研究内容包括扩张性、残余应力和应变、离体和在体消化道的应力-应变关系等。他们不但观察了正常消化道,同时还探讨了疾病及年龄相关的消化道的生物力学特性,迄今共发表相关论文 200 余篇。

Hans Gregersen 教授主编的《胃肠生物力学——胃肠动力新视角》一书是第一本详细论述消化道生物力学的专著,为读者提供了有关生物力学的基本概念、胃肠生物力学的研究方法、胃肠生物力学与胃肠动力间的紧密关系,并展示了作者的研究成果。本书的译者樊艳华教授、王虹教授、窦艳玲博士多年来从事消化道疾病临床与研究,在接触到生物力学这门学科后很受启发。樊艳华教授和窦艳玲博士曾在丹麦奥尔胡斯(Aarhus)大学临床研究所 Hans Gregersen 教授的研究室参加实验研究,窦艳玲并获得胃肠生物力学的博士学位。本书的问世为消化疾病,尤其是消化道动力障碍性疾病的认识和研究提供了一种新的视角与启发,译者很希望能将胃肠生物力学这一新领域的研究介绍给我

国的学者和同道，以便共同探讨与研究。

由于生物力学涉及生物学、生理学、解剖学等多门医学学科，还涉及力学这门对从事医学临床与基础研究者来说不熟悉的学科，使本书翻译有一定的难度。译者克服困难，进行了艰苦的翻译工作，请教了多位专家，对本书中的诸多数学力学问题还邀请有关专家进行审核，尽量使翻译接近原著。我有幸在出版之前读到本书，受益匪浅，非常感谢译者将本书介绍给中国的学者和同道，希望我国的胃肠动力研究能切入生物力学的领域，为患者带来更多地帮助。

柯美云

2006年4月于北京协和医院

英文版序

消化道为自然形成的具有自主调节机制的力学器官,摄入食物的种类不同,其动力模式不同,以使食物达到最大限度的消化和吸收,并最终将废物排出体外。消化道的运动形式主要由摄入食物的理化性质决定,其调节能力之神奇,使人叹为观止。

由于相关基础研究薄弱,长期以来人们缺乏对胃肠运动功能的正确认识和理解。近年来,通过应用现代生物学技术进行研究,使人们对胃肠生物力学的认识有了一定程度的提高,并获得了大量宝贵信息。研究数据表明,胃肠神经与胃肠肌肉之间存在相互协调、相互作用的关系,但这种关系并非呈线性,详细情况尚不清楚。

在生理学领域中,胃肠动力学的发展明显滞后,这是导致胃肠神经与运动障碍性疾病成为当今临床突出问题的主要原因之一。以下事实表明,胃肠神经运动功能紊乱是大多数胃肠疾病的根本原因:几乎所有食管疾病都有运动功能障碍及神经调节紊乱的表现;结肠憩室是西方人常见的难治性疾病。目前认为,其发病由肠神经及运动功能紊乱所致;器官运动功能异常也参与某些器质性疾病如胆石症的发病过程。

力学器官的研究应包括两方面内容,即机械力及其调控系统。由于生物学较少研究物理学问题,而物理学也极少涉及胃肠神经肌肉系统的功能,致使胃肠力学这块生物力学领域被人们长期忽略。相信通过生物力学的研究,能够在生物学与物理学之间以及其他相关学科间架起沟通的桥梁。本书正是基于上述原因撰写,应受到关注。

也许来自不同学科的读者受专业知识的限制,对书中的部分内容难以理解。经验告诉我,要真正了解这一领域的知识,不应仅限于阅读一本书,要经常讨论与交流,尤其对其中的特殊问题应该进行深入的学习和研究。

相信经过不懈地努力,能够提高对胃肠动力障碍性疾病的认识以及治疗水平,造福于这个庞大的疾病群体。

研究胃肠生物力学可以为流体力学研究提供新的思路,并能够帮助理解肠道有效处理液态内容物的机制等方面的问题。

James Christensen

(王虹 高福生 译)

前 言

生物力学和生物工程学是新兴学科。现将胃肠道看做是整套力学器官,长期以来,有关胃肠生物力学和生物工程学方面的基础与临床研究十分匮乏。胃肠力学不在生理学研究的范畴之列;医学生对消化系统功能的认识通常局限于胃肠道的消化、吸收以及肝功能的相关内容,而有关胃肠力学知识所知甚少;很少有涉及胃肠生物力学方面的书籍;在一些自称知晓生物力学理论的研究者中,也存在错用概念并对相关假设和结果分析错误的现象;几乎没有一本书能够详细论述胃肠生物力。上述事实说明,出版有关胃肠生物力学的书籍十分必要。通过这些书籍可以帮助各类读者建立起良好的胃肠生物力学概念,并能够向学生及读者传授生物力学知识以及运用力学观点解释胃肠生理和病理学问题的方法。这类书籍应该具有改变人们陈旧的思维方法、推动胃肠生物力学研究的巨大影响力。一旦人们观念发生转变,生物力学研究将得以迅猛发展,对相关书籍的需求量也将随之增长。通过学习,人们会发现相关知识的贫乏。所以,必须解放思想,大胆进行基础、临床以及有价值设备仪器的研究和开发。这本书介绍了我的一些观点,并对一些研究工作进行了回顾性总结。我认为,要想很好地认识消化道的主动运动功能,需要了解基本的应力与应变关系以及组织的被动性能。所以,这本书着重在胃肠道被动弹性方面进行论述。后续出版的书籍将对组织的主动性与被动性进行综合性论述。在第五章及其他章节将重点介绍胃肠运动功能及胃肠动力障碍性疾病诊断方面的内容,这些内容可能是许多人更感兴趣的部分。

《胃肠生物力学——胃肠动力新视角》一书不是胃肠生物力专题研究指南。这本书没有太多复杂的数学和物理学基础理论,主要希望提供给读者一些相关的实验方法及参考文献,帮助开阔视野。本书应用尽可能少的计算公式概括论述了生物力学的基本观点。书中重点强调了一些生理学研究、临床研究数据(如扩张性参数)以及结果分析的重要性,并对相关的错误进行了讨论。同时,本书也对组织形态学、组织生长与生物力学之间的关系进行了简单的介绍。在

第二章中,重点介绍了胃肠道解剖、形态及生理学基础知识。第三章论述了生物力学的一些概念及相应的计算公式,并对测算应力和应变的假说进行了探讨。第四章概括论述了胃肠生物力学的研究方法及其相关检测技术。其余章节主要论述胃肠平滑肌的性能及力学特性。目前,残余应力和残余应变已经成为胃肠组织性质的焦点问题,所以用第六章整个章节介绍这方面的内容。在最后两章中,主要显示在正常或异常情况下的有关研究数据。

在这本书的写作过程中,得到了诸多学生、助手、合作者以及专家们的大力帮助和支持。没有他们的努力工作,就不可能有这部著作。首先,这部书得到了来自加利福尼亚大学圣地亚哥生物工程协会的大量科学信息支持。与 Emeritus Y. C. Fung 教授、Andrew McCulloch 教授、Shu Chien 教授、Richard Skalak 教授(已逝)、S. Q. Liu 和 Wei Huang 合作,使人深受启发和鼓舞。Ghassan Kassab 副研究员(现在是 UC Irvine 教授)在 UCSD 和 Denmark 等多个项目中做出了突出的贡献,他具有坚忍不拔的意志品质。爱荷华州大学医院的 James Christensen 教授一直坚持胃肠病学必须与生物工程学相结合的理念,这十分难能可贵。书中所提到的许多实验是由我的学生和博士后所完成的,他们是 Claus Jørgensen, Birgitte Duch, Gerda Villadsen, Chunwen Gao, 赵静波, Xiao Lu, Klaus Krogh, Judd Day, James Smith, Jeff Cassin, 窦艳玲, 樊艳华, Jian Yang, Romulus Lontis 和 Liao Donghua。书中部分数据是与下列人员共同工作的结果: Bergen 超声工作组(尤其是 Odd Helge 博士);来自 Salford 希望医院 David Thompson 教授和 Josephine Barlow 教授;北京中日友好医院临床医学研究所(现为北京航空航天大学)庄逢源教授;北京理工大学的 Y. J. Zeng 教授。另外,圣地亚哥加利福尼亚大学生物工程研究所(1994—1996 年),丹麦奥尔胡斯(Aarhus)大学临床研究所(1996—1999 年),奥尔堡(Aalborg)医院和奥尔堡大学感觉-运动研究中心(1999—2001 年)分别在不同阶段为著书提供了良好的工作条件。感谢 Jens Christian Djurhuus 教授、Asbjorn Drewes 博士以及和 Lars Arendt-Nielsen 教授的合作。感谢 Danish 研究理事会、Karen Elise Jensens 基金会、Ydes 基金会以及许多其他的基金会为本书所给予的支持和帮助。

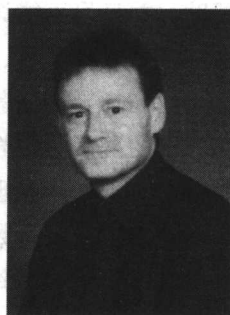
特别感谢来自美国 California 大学的 Y. C. Fung(冯元桢)教授和 San Diego 教授。San Diego 教授被公认为生物工程学鼻祖。这本书是在他们大量研究工作基础上完成的。目前已经有许多他的学生和读者从事这方面的研究工作。冯教授的著作是经典之作,深受所有热爱生物力学研究事业者的青

睐。在此，我向在完成这本书过程中给予帮助的所有学生、合伙人以及指导者一并感谢。

胃肠生物力学及生物工程学研究是我热爱的事业之一。我希望这本书能够帮助人们更好地认识胃肠道是一个生物力学系统，从多角度去了解、分析胃肠疾病，并能够进一步明确这些疾病的病理学基础及与生物力学改变之间的关系。

Hans Gregersen

2002年8月于丹麦，奥尔堡



(王虹译)

致 谢

本书得以顺利出版首先应感谢原著作者 Hans Gregersen 教授,其不但将译者领进消化道生物力学的大门,还在本书的翻译过程中给予了尽可能多的指导和帮助,并且尽可能详细地解答译者遇到的疑问。

中国协和医科大学、北京协和医院的柯美云教授在本书翻译的开始就给予的大力支持和指导,柯教授在百忙中抽出时间就译文认真审校,提出宝贵意见。这本书的翻译与柯教授的鼓励和指导是分不开的。

非常感谢美国的物理学博士孙涛。本书涉及众多力学、数学和物理等非医学门类的知识,尤其是数学公式繁多,这对医学临床工作者来说无疑是翻译的难点,在这方面有幸得到了孙涛博士的指导和审校,孙博士还亲自参与了部分翻译工作。

这里还要特别感谢北京中日友好医院临床医学研究所血液流变研究室(现在北京航空航天大学)的庄逢源教授对译者在留学和本书的翻译中给予的热情帮助和指导。感谢丹麦奥尔堡大学胃肠生物力学与感知研究中心的赵静波教授、廖东华博士在本书翻译工作中给予的热情帮助。

由于本书内容涉及多门学科,译文难免有缺点和错误,敬请广大读者提出宝贵意见。

樊艳华 王 虹 窦艳玲

2006. 4. 23

目 录

第一章 生物力学概念	1
1.1 引言	1
1.2 什么是生物力学	2
1.3 研究历史及背景	3
1.4 生物力学的应用	4
1.4.1 机械感受器、蠕动反射及感受功能的测定	4
1.4.2 平滑肌张力	5
1.4.3 食团传输机制	5
1.4.4 机械力、生长、重建以及形态学	6
1.4.5 临床展望	6
1.5 生物力学研究方法	7
1.6 参考文献	8
 第二章 消化道的形状、结构及运动功能	10
2.1 引言	10
2.2 胃肠平滑肌的结构和组成	11
2.2.1 肌层	11
2.2.2 黏膜肌层	11
2.2.3 消化道不同部位肌层特点	12
2.3 结缔组织及其成分	14
2.3.1 黏膜下层	15
2.3.2 浆膜及浆膜下层	17
2.3.3 黏膜固有层	17
2.3.4 消化道不同部位结缔组织的特点	17
2.4 上皮层及其组成成分	18
2.4.1 消化道黏膜上皮	18
2.4.2 浆膜	18

2.4.3 消化道不同部位的上皮特点	19
2.5 消化道壁内神经	19
2.5.1 肌间神经丛	19
2.5.2 黏膜下神经丛	20
2.5.3 固有层及浆膜神经	20
2.5.4 消化道不同部位的神经支配特点	20
2.6 消化道壁外神经	22
2.6.1 副交感神经系统	22
2.6.2 交感神经(胸腰神经)	23
2.7 机械系统: 胃肠运动及食物的输送方式	23
2.7.1 引言	23
2.7.2 节律性收缩的起源	24
2.7.3 消化道各部位的运动模式	25
2.8 简化几何形态假说及误差分析	33
2.8.1 圆形代替椭圆形截面计算中可能出现的误差	34
2.8.2 应用豚鼠十二指肠模型进行的研究	36
2.8.3 验证兔食管及小肠的形态	38
2.8.4 扁圆形器官的表面积及容量	39
2.9 参考文献	40
第三章 基础机械原理	41
3.1 简介	41
3.2 应力	44
3.2.1 薄壁柱形压力管的应力	45
3.2.2 Laplace 定理的其他特性	47
3.2.3 厚壁圆柱管	48
3.2.4 膜张力的计算	49
3.3 变形	50
3.3.1 二维表面应变的计算	53
3.4 应力-应变关系	54
3.4.1 体外柱状结构的几何数据计算	56
3.4.2 消化道管壁应力应变的分析方法	57
3.5 黏弹性	58
3.6 数学分析	60
3.7 流体因素	60

3.8 其他(常用)机械参数	61
3.9 参考文献	62
第四章 生物力学研究方法及其结果分析	64
4.1 常用胃肠运动检测方法	64
4.1.1 测压法	64
4.1.2 浆膜应变传感器	66
4.1.3 评估肠管内容物的流动状况	66
4.1.4 无创性检查方法	67
4.2 气囊扩张技术	68
4.2.1 关于气囊扩张法的几点注意事项	68
4.2.2 应用气囊扩张技术时对几何因素的几点考虑	69
4.2.3 阻抗面积测定	71
4.2.4 与阻抗测定系统相关的技术	82
4.2.5 超声影像技术的在体研究	84
4.2.6 应用非线性统计学方法分析张力-应变关系(通过阻抗测定等方法 获得的数据)	84
4.2.7 阻抗测定技术的有限差分模型	87
4.2.8 气囊扩张过程中双轴膜张力的测定	98
4.3 其他力学研究技术及分析方法	103
4.3.1 单轴实验	103
4.3.2 双轴和三轴实验	104
4.3.3 关于直径测量与分析的注释	105
4.3.4 弯曲实验(确定双层结构的弹性实验)	108
4.3.5 应用扫描声学显微镜测定组织弹性	109
4.3.6 应用声学显微镜法进行多层结构声速的离体研究	110
4.3.7 确定食管双层结构稳态弹性模量的模型	112
4.3.8 食管壁各层的应力分布	119
4.4 参考文献	123
第五章 胃肠道平滑肌细胞的机械力学行为及神经支配	128
5.1 消化道平滑肌功能、动力和力学的研究模型	128
5.1.1 在体模型	128
5.1.2 离体模型	129
5.2 平滑肌	131

5.2.1 平滑肌的结构	131
5.2.2 节律的起源	132
5.2.3 慢波的起源	132
5.3 突触和神经环路	133
5.4 感知	133
5.5 力学数据的重要性	135
5.5.1 机械受体、蠕动反射及感觉实验	135
5.5.2 消化道动力障碍	136
5.5.3 年龄相关性消化道改变	139
5.5.4 从生物力学观点看 IBS 的结直肠感觉异常	140
5.6 Hill 三元模型	142
5.7 决定机械曲线形状的因素	143
5.8 动力组织特性	144
5.8.1 位相性收缩	145
5.8.2 胃肠平滑肌张力	148
5.9 研究张力的新标准: 体内继发性蠕动和内脏疼痛机制	154
5.9.1 阻抗测面仪的临床研究-压力依赖阶段扩张气囊	155
5.9.2 感觉评估	156
5.9.3 机械刺激的标准化	157
5.9.4 人十二指肠连续扩张实验的感觉和生物力学反应	159
5.9.5 老化对张力-应变曲线和感觉的影响	162
5.9.6 系统性硬化症对张力-应变曲线和感觉的影响	165
5.9.7 初期结论、局限性和展望	165
5.10 多元刺激方法	166
5.11 机械拉伸在平滑肌细胞培养中的作用	167
5.11.1 细胞培养	168
5.11.2 细胞应力的方法	169
5.11.3 影像分析	171
5.11.4 微移液管诱导的黏弹性变形	171
5.12 参考文献	172

第六章 胃肠道零应力状态、残余应力和残余应变的概念	180
6.1 引言	180
6.2 实验步骤	183
6.3 环向零应力状态的几何特征	183

6.4	残余应变的测量	187
6.5	双层模型	188
6.6	长向和径向残余应变特性	190
6.7	残余应变的含义	191
6.8	关于组织波状变形的附加注释	194
6.9	载荷状态下应变分布的估计	195
6.10	无载荷状态下黏膜和浆膜应变的估计	197
6.11	参考文献	198
第七章	正常胃肠组织生物力学特性	199
7.1	预调制性能-应变软化	199
7.2	食管的零应力状态和应力-应变特征	202
7.2.1	成熟和衰老时期食管的生理性重建	202
7.2.2	食管双层模型	204
7.3	小肠的形态学、残余应变和应力-应变特性	204
7.3.1	大鼠小肠双轴向试验中长向残余应变和应力-应变关系的注解	207
7.3.2	小肠结构的生理性重建和生理性成长过程中的生物力学特性	208
7.3.3	大鼠小肠时间依赖的黏弹特性	209
7.4	大肠	212
7.5	胆道	212
7.6	结束语	213
7.7	参考文献	214
第八章	胃肠道的生长和重建	216
8.1	机械力、生长、重建和形态学	216
8.1.1	临床应用前景	216
8.2	生理性重建	217
8.2.1	禁食和再喂期间小肠的重建	217
8.3	因管壁结构成分受干预所致重建	221
8.3.1	突变成骨不全小鼠的食管残余应变特征	221
8.3.2	胶原酶和弹力酶诱导的大鼠食管重建	222
8.4	实验性疾病所致重建	223
8.4.1	链脲菌素导致的糖尿病	224
8.4.2	手术的介入	224
8.4.3	生理干预	228

8.5 生长因子导致的重建	229
8.5.1 表皮生长因子	229
8.6 组织重建	232
8.7 参考文献	233
 第九章 展望	 237