

正畸功能矫治器 理论与实践

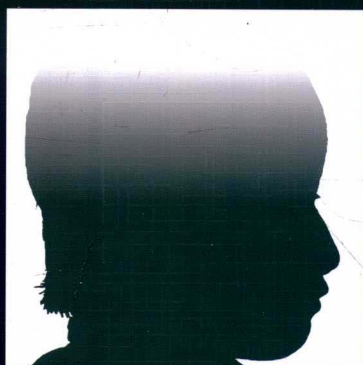
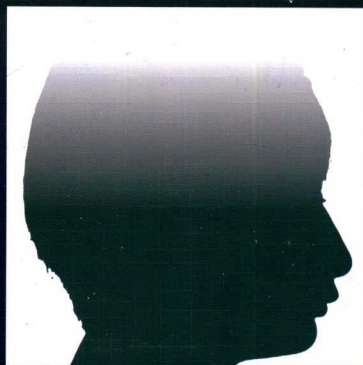
Orthodontic Functional Appliances Theory and Practice

■ 原著 [英] Padhraig Fleming

Robert Lee

■ 主审 周 洪

主译 侯玉霞 王 菲



WILEY



世界图书出版公司

正畸功能矫治器：理论与实践

Orthodontic Functional Appliances

Theory and Practice

原 著 [英] Padhraig Fleming

Robert Lee

主 审 周 洪

主 译 侯玉霞 王 菲

译 者 郭昱成 吉玲玲 苏晓霞

亓 坤 胡 诚 李海振

余文婷 白坤宏 黄倩倩

付丹蓉



世界图书出版公司

西安 北京 广州 上海

图书在版编目 (CIP) 数据

正畸功能矫治器:理论与实践/(英)帕德拉格·弗莱明(Padhraig Fleming),(英)罗伯特·李(Robert Lee)著;侯玉霞,王菲主译.—西安:世界图书出版西安有限公司,2017.11

书名原文:Orthodontic Functional Appliances:Theory and Practice
ISBN 978-7-5192-3758-5

I. ①正… II. ①帕… ②罗… ③侯… ④王… III. ①口腔正畸学—矫治器 IV. ①R783.508

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第293274号

Orthodontic Functional Appliances:Theory and Practice by Padhraig Fleming,Robert Lee. ISBN:9781118670576
Copyright© 2016 John Wiley & Sons,Ltd.

All Rights Reserved. Authorised translation from the English language edition Published by John Wiley & Sons Limited.
Responsibility for the accuracy of the translation rests solely with World Publishing Xi'an Corporation Limited and it is not the responsibility of John Wiley & Sons Limited. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyright holder, John Wiley & Sons Limited.

本书中文简体中文字版享有翻译出版权由 John Wiley & Sons,Ltd. 公司授予世界图书出版西安有限公司。翻译准确性由世界图书出版西安有限公司负责,John Wiley & Sons Limited 对此不负责任。未经许可,不得以任何手段和形式复制或抄袭本书内容。

-
- | | |
|------|--|
| 书 名 | 正畸功能矫治器:理论与实践
Zhengji Gongneng Jiaozhiqi Lilun yu Shijian |
| 原 著 | [英] Padhraig Fleming, Robert Lee |
| 主 译 | 侯玉霞 王 菲 |
| 责任编辑 | 马元怡 |
| 装帧设计 | 绝色设计 |
| 出版发行 | 世界图书出版西安有限公司 |
| 地 址 | 西安市北大街85号 |
| 邮 编 | 710003 |
| 电 话 | 029-87214941 87233647(市场营销部)
029-87234767(总编室) |
| 网 址 | http://www.wpxa.com |
| 邮 箱 | xast@wpxa.com |
| 经 销 | 新华书店 |
| 印 刷 | 陕西博文印务有限责任公司 |
| 开 本 | 889mm×1194mm 1/16 |
| 印 张 | 11 |
| 字 数 | 240千字 |
| 版 次 | 2017年11月第1版 2017年11月第1次印刷 |
| 版权登记 | 25-2017-0016 |
| 国际书号 | ISBN 978-7-5192-3758-5 |
| 定 价 | 110.00元 |
-

(版权所有 翻印必究)

(如有印装错误,请寄回本公司更换)

原著名单

Dr Andrew DiBiase

BDS, MSc, MOrth RCS, FDS (Orth.) RCS

Dr Colin Larmour

BDS, MSc, FDS RCPS, MOrth RCS, FDS (Orth.)

Mr Kieran McLaughlin

MSc, Adv Dip Dent Tech

Dr Peter Miles

BDSc, MDS, FCID

Professor Peter A. Mossey

BDS, PhD, MOrth RCSEng, FDS RCSEd, FFD RCSI

郑重声明

未经出版社授权或英国版权、设计和专利法案允许，禁止将本书内容复制，全部或部分上传至检索系统，以及以电子版、复印、照相复印、录音或其他任何形式传播。

商标是公司用来区分产品的设计。本书中所有的商标名称和产品名称都是商品商标、服务商标或注册商标，出版商与这本书中提到的任何产品并不存在利益关系。出版商不提供专业服务，如果需要专业建议或其他专家协助，应寻求专业人士的帮助。

本书的内容旨在进一步促进科学研究，并不为特定患者推荐或推广特定的诊断、治疗方法。出版商、作者、译者没有就本书内容的精确性和完整性作任何保证，并且明确否认任何负责任的保证，例如针对特定目的健康和疗效的保证。针对正在进行的研究、设备升级、仪器更新换代、政府法规的变化、设备和用药等信息的不断完善，有读者要求审查和评估其包含的详尽信息例如每种药物、设备和装置的各种信息，并希望对部分问题提供详细的指示、警告和预防措施，对于这种情况读者应当咨询专家。任何组织或网站在本书中被引用时，并不意味着作者或出版商认可该组织或网站提供或建议的任何信息。读者还应意识到，本书所列的互联网网站在著书和阅读时可能发生变化甚至消失，本作品的任何推广声明，不为其提供任何担保。无论是出版商还是作者，都不对由此产生的任何损害负责。

序 一

功能性矫治器是临床上矫治颌骨畸形应用十分广泛的矫治器之一,属于阻断性矫治的范畴。牙颌畸形的早期矫治对于改善患者牙颌畸形、心理发育和自信心的建立有着特殊的意义。颌骨发育畸形的早期矫治与功能性矫治器的临床应用有着十分紧密的联系。功能性矫治器在矫治Ⅱ类或Ⅲ类颌骨畸形方面的应用都可以对颌骨的生长发育起到影响作用,达到面型改善、颌关系调整以及牙齿与颌骨关系改变的目的,降低了畸形二期矫治难度,促进了患者的身心健康。众所周知,欧洲是功能性矫治器的发源地,其应用的历史和范围也最为广泛,对功能性矫治的理解也极为深刻,在功能性矫治中占有重要的地位。Padhraig Fleming 和 Robert Lee 教授来自英国伦敦医学与牙科学院,他们具有多年应用功能矫治器的临床经验。在《正畸功能矫治器:理论与实践》这部书中详细介绍了功能矫治器的基本原理和临床应用规范,对临床医生在临床上使用功能性矫治器有着重要参考价值。

本书的特点是图文并茂,使用大量的临床案例图片,形象而生动地表述了功能性矫治器的原理和应用原则。本书共有 11 个章节,前 3 章主要介绍了功能性矫治器的原理、发展和生长发育基本理论,后面部分章节介绍了 Fränkel 矫治器、Activator、Twin Block、Herbst 矫治器,弹性固定功能矫治器,而且还讲述了功能矫治到固定矫治的转化,最后通过临床病例完整展示治疗过程,内容丰富,实用性强。目前,国内功能性矫治器制作水平有了较大的提高,商业化的加工模式已成为常态,对功能性矫治器的临床应用起到了保障作用,相信广大正畸医生通过阅读与学习本书之后,能够很快将其应用于临床工作中。

本书译者都是多年来一直从事口腔正畸学临床、教学和科研工作的临

床医生，有着较为深厚的专业功底，也具有多年应用功能矫治器的临床经验和体会，对功能性矫治器的应用原理有较深刻理解。为了能够准确地反映原文含义，他们花费了大量时间来查阅文献，体会原著的表达，追求用确切、易理解和生动的语言进行描述。相信本书会给广大从事正畸临床工作的医生、研究生和进修生以及相关专业的口腔医生提供一个有益的学习教材，增进读者对功能性矫治器的理解，从而更好地将功能性矫治器应用于口腔正畸临床治疗之中。

《正畸功能矫治器：理论与实践》一书在西安交通大学口腔医院正畸科团队的努力下，顺利完成了翻译并成功出版，本书将对我国功能性矫治器的临床应用和发展起到积极的促进作用。

中华口腔医学会正畸专业委员会副主任委员

周洪 教授

2017年8月

序 二

功能矫治在国内有比较广泛的应用,也是正畸矫治的重要组成部分。功能矫治器经过近百年的发展,也有很多的改良和新型的矫治器,在理论上也有很多新的理念。但是有关这方面的专业书籍却很少。近些年,对于儿童的呼吸问题和面型发育畸形的关注度不断提高,功能矫治方兴未艾,急需一部这方面最新的专业著作。

欧洲较美国在功能矫治方面有更长的历史,作者 Padhraig Fleming 和 Robert Lee 教授来自英国伦敦医学与牙科学院。第一次拿到《正畸功能矫治器:理论与实践》这部书就被清晰的矫治器和病例图片所吸引,翻阅过程中发现这部书的构架简洁合理,内容丰富细致,均是正畸医生关心的问题。

最初几章主要介绍功能性矫治器的发展历史,功能矫形的生物学基础,功能矫治的原理和适应证。随后,作者对常用的功能矫治器的临床应用步骤详细介绍,包括病例选择、印模、咬合记录、矫治器设计、矫治器戴入、复诊要点、后续保持和二期固定矫正。最后,总结功能矫治循证医学研究结果,功能矫治向二期固定矫治过渡,介绍了更多功能矫治案例。通过阅读这部书能够全面了解功能矫治的内容,对于临床正畸医生、正畸研究生、进修医生以及近年来开始儿童正畸的儿科医生都会有帮助。

本书的翻译得到周洪教授的支持,译者队伍中王菲副主任医师,吉玲玲医生都在正畸临床工作多年,郭显成医生、亓坤医生、苏晓霞医生均为获得博士学位的年轻医师,他们参与本书的多次校对;研究生李海振、胡诚、余文婷、白坤宏、黄倩倩、付丹蓉也参与本书的翻译工作,相信这次经历也会给他们将来的工作打下基础,感谢大家在这部书中倾注的精力和认真努力的工作。非常感谢世界图书出版西安有限公司的马元怡编辑在本书的

翻译和出版过程中所做的工作。在大家的共同努力下，本书得以顺利出版。

我们的正畸团队满怀热情投入这部书的翻译出版，但是由于时间紧和水平有限，书中难免有疏漏之处，请广大读者批评指正。

侯玉霞 王 菲

2017 年 8 月

原书序

正畸医生一直探索获得健康和稳定的牙列，从而达到具有良好的功能、美观和稳定的矫治效果。近年来，伴随对美学关注度的增强，正畸矫治器在改变面部发育，尤其在美学方面仍存争议。功能矫治提供生长改良的可能性，改变牙弓间关系和面部形态。面部骨骼和软组织的个体差异影响功能矫治的疗效。功能矫治是口腔正畸学的重要内容，其临床应用已接近一个世纪。它通过改变骨骼、牙齿或者两者结合发挥作用，主要应用在青春前期、青春期甚至是生长发育成熟的患者。目前，虽然功能性矫治器的临床应用有区域差异，医生也经常有不同的治疗观点，但是功能性矫治器在临床上已经使用很长时间，也取得相对一致的观点。

本书不仅介绍传统的功能性矫治器的治疗，更多地介绍像 William Clark 医生这样功能性矫治的改革者，他们优化、简化和推进功能性矫治器的临床应用。本书作者也成功用功能性矫治器治疗生长发育期的Ⅱ类错颌畸形。写这本书的意义是阐明功能矫治的治疗理念和核心意义。本书以临床实践为目的，以循证医学基础。鉴于功能性矫治器治疗效果研究的局限性，我们强调随机研究的结论。

有关功能性矫治研究的内容，主要是矫治器临床应用的理论原则。传统的 Twin Block 矫治器经临床证实是可靠、有效并易于使用的，被用于治疗安氏Ⅱ类错颌。本书也介绍了当代普遍使用的功能性矫治器，以及特殊的弹性和固定功能矫治器。本书通过大量的病例来说明功能矫治的生物学基础和适应证。我们希望即使没有功能矫治经验的医生，阅读本书后能够合理地选择患者，设计矫治器，为患者进行有效的治疗。

感谢支持我们的生活和专业生涯的所有人，特别感谢家人的爱和支持：

Caroline, Oliver, Sophie, Anne 和 Johnny Fleming。感谢 Norma Lee 和她的孩子们对我们的耐心和理解。感谢 Margaret Collins 医生鼓励和推荐这本书的出版。感激 Peter Miles, Andrew Dibiase, Peter Mossey 参与这本书的撰写, 他们的参与使得本书内容更加完备。最后, 我们要感谢 Kieran McLaughlin 先生专业的矫治器技工操作和活动矫治器应用技术。

我们希望您喜欢这本书, 希望我们的努力和内容能够对于您未来使用功能性矫治器有所帮助。

Dr Padhraig Fleming

Professor Robert Lee

目 录

第一章	功能性矫治器治疗的生物学基础·····	1
第二章	功能性矫治器的发展·····	10
第三章	遗传因素和环境因素对下颌骨髁突生长的影响·····	21
第四章	功能性矫治器治疗的适应证和病例选择·····	28
第五章	双骀垫矫治器的临床应用 ·····	52
第六章	坚固的固定式功能性矫治器·····	72
第七章	弹性固定式功能性矫治器·····	96
第八章	从功能矫治到固定矫治的转化·····	105
第九章	功能性矫治器在Ⅲ类错骀矫治中的应用 ·····	123
第十章	功能性矫治器：临床依据的集中回顾·····	131
第十一章	病 例·····	140

第一章

功能性矫治器治疗的生物学基础

功能性矫治器是一种利用面部肌肉和咀嚼肌来改变个别牙或整个牙弓位置的装置。任何一种引起咬合力以及肌肉活动改变的口腔矫治器都可能产生个别牙或牙弓的位置改善。这些矫治器包括通过干扰或刺激反射性引起下颌位置改变的活动矫治器,以及使用机械装置引导下颌到不同功能位置的固定矫治器。

面部生长

上颌骨的生长方式主要是膜内成骨,同时伴随骨表面改建,上颌骨向下向前移位,生长方向与颅底约成 40° 的夹角^[1]。上颌骨的生长方式复杂,并且受上颌骨骨缝变化的影响。上颌骨上表面的骨吸收及其他表面的沉积影响着上颌-牙槽骨复合体的位置,在基骨向下向前的生长中,前表面的吸收起到主要作用。在上颌骨下表面即腭部发生骨沉积的同时,上表面也发生着骨吸收,上颌骨向下移位(图1.1)。

Björk 和 Skieller 的钽元素示踪研究显示:儿童与青少年的下颌骨生长主要是软骨内骨化造成髁突在后上方向长度增加的结果。其他区域下颌骨的生长是表面增生和改建的结果^[2]。骨沉积式生长并不发生于额前部,

额部生长主要表现为横向增长。下颌骨生长还表现为牙槽骨以及肌肉附着部的骨骼改建。下颌支生长主要是升支后部骨增加,伴随下颌支前缘骨的吸收(图1.2)。

下颌骨不直接与颅骨接触,但髁突头位于颞骨的关节窝中,其位置受到肌肉、韧带以及肌腱的约束。髁突与颞骨之间的滑膜关节被归类为铰链-滑动关节,因其同时存在铰链关节和滑动关节的成分,允许下颌骨在行使功能时做开口、移动运动。随着髁突在关节窝内位置的改变,下颌骨的位置也随之改变。

功能性矫治器有望通过生长抑制和生长诱导的联合作用引起上下颌骨位置三维方向的变化。关于面部生长可见 Enlow^[1]、Björk 和 Skieller 的研究^[2]。

在青春期中,下颌骨的多方向增长量多于上颌骨,但是,如果没有积极的正畸干预,生长量差也不能纠正安氏Ⅱ类错殆^[3]。基于长期的生长发育纵向研究发现,在青春发育期的患者可能出现侧貌的些许改变以及凸面型的减轻^[4],然而这并不是通常所见^[5],且在青春晚期出现骨性侧貌的少许改变^[6]。基于14~20岁北美高加索人样本,Foley 和 Mamandras^[7]提出安氏Ⅱ类错殆畸形的男、女性的下颌骨增长量是

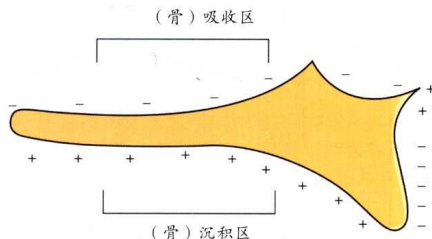


图1.1 上颌骨上表面骨吸收以及腭表面骨沉积的联合作用引起了上颌骨向下移位

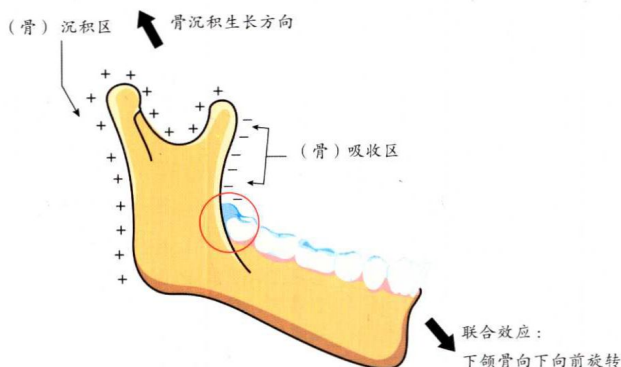


图 1.2 下颌骨的生长通过髁突向后向上生长引起下颌骨向下向前移位。下颌分支前表面骨吸收联合后表面的骨沉积作用导致下颌分支的向前移动

上颌骨两倍。单纯下颌骨长度的增长值得期待，但当其所有方向的生长都超过上颌骨时，上下颌骨增长的百分比差显得不太重要。下颌骨增长包含较大的垂直方向的生长。而上颌骨的生长通常由前鼻棘点（ANS）至后鼻棘点（PNS）间的水平测量来评估。颌间关系的改变与咬合接触关系密切，对未进行正畸治疗的 8~18 岁骨性Ⅱ类及深覆盖患者进行分析，下颌骨虽然较上颌骨多向前生长了 4mm，但由于牙尖交错殆，覆盖和咬合直至成年也没有改变^[8]。

颅面部生长，特别是上颌骨生长的速度会经历一个青春前期高峰。这个时期之前的生长速度通常较缓慢，尽管女性的颅面生长速度有一个短暂的幼年期高峰。Riolo 等描述^[9]，8 岁的男性和女性，下颌体（下颌角点至颏前点）长度的增长速度分别为每年 1.7mm 和 2.5mm。13 岁儿童的数据为 2mm 和 1.8mm。因此，涉及生长改建的治疗，应与最大生长速度时期同步。这听起来相对简单，但配合时间进行治疗的病例也只有部分获得了成功（第四章）。下颌骨的生长速度被认为与身高增长相似，但其实存在较大的变异^[10]。

女性 10~13 岁和男性 11~14 岁是被广泛认可的矫治安氏Ⅱ类错殆畸形最有效的生长发育时间。然而，研究发现，平均年龄 10 岁开始使用功能性矫治器的儿童组与刚进入青春期的（平均年龄 12 岁零 11 个月）^[11] 开始治疗的儿童组在骨骼改建的相对有效性方面差异不

大。此外，较早开始强调髁突增长速度与身高增长相一致的学者——Pancherz 等^[12]报道：对骨骼发育成熟的患者使用 Herbst 矫治器，经 MRI 检查证实颞下颌关节发生了有限但确实存在的骨性改变^[13]。

功能与颅面部形态

颅面部的生长发育与功能要求相适应，功能的实现需要细胞在更新过程中获得动态平衡^[14]。这一理论基于 Van der Klaauw 的研究，后来被美国的解剖学家 Melvin Moss 推广普及^[15]。根据生长的功能基质理论，面部生长、最终形态及大小由毗邻的组织和器官决定，特别是感觉、进食、认知以及呼吸等基础功能。Moss 认为重要器官的性质与其下方骨性部分相联系，尤其有两个拥有独立的组织和空间的主要功能部位（脑和面部）。Moss 假设软骨囊基质通过软骨内骨化及膜内骨化扩大并促进骨骼生长，同时来维持功能性空间。他证实分离软组织后骨骼的生长会发生改变，而当软组织存在并包裹着骨骼时可观察到骨骼是正常生长模式。使用 Moss 的理论解释功能性矫治器生长发育改良的机制时，不能很好地解释软组织改变造成的相关联的骨骼生长方向和速度的改变。此外，纠正异常的软组织模式和活动是功能性矫治器治疗设计者的初衷。多数研究者希望能通过矫治器来重建正常的功能和发育。另外，在动物模

型上,有学者发现改变咀嚼功能以及肌肉负重可显示出对髁突软骨厚度以及软骨母细胞分化的影响^[16-17]。

大脑生长以及颅骨发育产生的持续力量决定了颅骨形状的改变,这已经在一些部族中被证实。如南美原住民的颅骨,由于出生不久后就使用绷带束缚头颅,造成了头盖骨形状的明显改变(图1.3)。虽然脑的全部尺寸仍然被保留,但颅骨的形状明显改变。同样的情况发生在受地方风俗导致长骨的发育受限,如缠足改变了足部骨骼形状。

正畸医生在矫治错颌畸形涉及外貌改变时,希望改变下颌骨相对上颌骨的生长方向。上下颌骨相对位置的改变可有效地矫正矢状向、垂直向、水平向的咬合不协调。在骨性Ⅱ类错颌的成因中,下颌骨相对于上颌骨位置的不协调比颌骨尺寸的影响更大^[18-20](图1.4)。McNamara对北美高加索人群进行分析,显示49%的骨性Ⅱ类患者的SNA角小于 81° 。并且,82%的患者SNB角小于 78° ^[19]。因此,大部分研究及临床矫治主要是改变下颌骨的位置及大小。

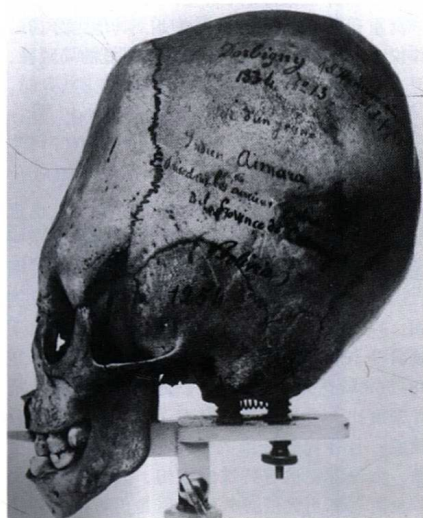


图1.3 阿塔卡马沙漠中南美女性头颅束缚的一个案例。在婴儿期束缚头颅,其束缚时间相对较短(大约6个月),但效果延续到了成年时期

下颌骨处于前伸位时可能导致下颌骨髁突内应力集中。有限元分析显示当佩戴弹性固定式功能性矫治器后髁突内应力会加倍^[21]。Gupta等^[22]在研究模型中报道了前伸下颌骨时髁突内拉应力在后上部位累积。拉伸应力同样出现关节窝后方的连接组织内。有假设提出机械(刺激)改变可能使细胞分化增强。近期基于灵长类和啮齿类的随机研究验证了生长改建及功能性矫治的生物学基础。

灵长类动物研究

与长骨原发性骨髓关节软骨的生长不同,髁突软骨是区域适应性生长的继发性软骨。继发性软骨生长在胚胎发育晚期出现,一般认为髁突的软骨化起始于子宫(母体)第9周,并且有独特的沉积生长和增殖模式,而原发性软骨是在间隙内生长(见第三章)。一般认为原

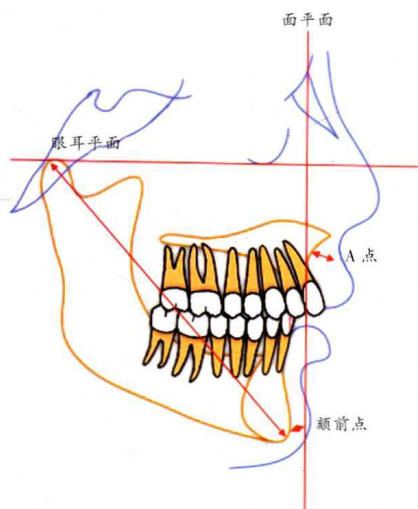


图1.4 骨性Ⅱ类错颌的主要原因在于下颌后缩而非上颌前突。然而Burlington、Bolton和Ann Arbor样本分析显示49%的骨性Ⅱ类患者的SNA角小于 81° 。并且,82%的患者SNB角小于 78° ^[19]。因此,大部分生长改良主要集中在引导下颌骨位置及大小的改变。McNamara在头影测量分析中使用面平面垂直于眼耳平面^[20]

发性软骨应答于系统性生长因素，如激素，而继发性软骨是这些因素的二级反应。在长骨中增生肥大的软骨细胞是柱状排列，而在髌突软骨中软骨细胞的组织结构较为无序；这也许支持髌突软骨应答机械刺激的多方向生长模式。髌突软骨不负担体重，仅承受咀嚼、吞咽和异常机能活动产生的间歇性力量，机械刺激是髌突正常生长的先决条件，诱导软骨细胞和前软骨细胞的特定生化反应。若通过减少咬合接触来减轻下颌骨髌突的负担，可能会形成一个较薄、低密度的髌突软骨层^[23]。

通常认为位置的改变可能引起咬合改变，例如，Andreasen 矫治器强调咬合的改变，当头影测量学出现时，学者们怀疑 Andreasen 矫治器是否有引起明显骨改变的能力，提出正畸医生仅局限于改变牙-牙槽骨，而颌骨关系恒定的观念^[24]。

动物研究外推至人类涉及一系列因素，显得比较困难。在研究下颌骨生长时：不同物种存在本质上不同的生长模式，包括髌突的肌肉附着、关节盘和关节窝形状以及特有的咀嚼方式。通过对恒河猴进行大量的研究来探索与哺乳动物最相似的灵长类动物生长发育的改变情况。这些物种和人类在生长发育模式和速度上存在着可接受的差异。例如恒河猴的骨骼在3岁时就已发育成熟。此外，恒河猴新陈代谢的速度大约比人类快4倍，相关的细胞更新也比人类显著快捷。

Moyers 等^[25]对相当于6岁人类的恒河猴通过戴咬合夹板造成下颌骨前移位。经过3个月的Ⅲ类磨牙关系的过矫正后，形成骨性Ⅲ类关系。抑制了上颌骨在磨牙区域的垂直向生长的同时，增加了上颌结节的生长率。此外，治疗期间出现髌突后上方的加速生长。牙齿的改变有限，下颌磨牙轻微近中移位，而下颌骨的加速生长被证实。

Stöckli 和 Willert^[26]研究了处于不同年龄段的恒河猴的髌突和关节窝。对照组2只动物和6只使用外科夹板的动物相比较，研究组动物的下颌骨前向移位5mm；髌突有独特的生长模式。髌突被证实有一个外表面，即关节面，最初由纤维软骨形成。关节面下方是居中间层的细胞增殖层，这是软骨对下颌骨前移位的应答区域，产生软骨层的变厚以及细胞数目的增

加。第三层是透明软骨层，随着骨化被骨组织代替。下颌骨前向移位的全部效果是骨长度增加。研究组的效果比预想明显。研究组动物的增殖区域扩大了五倍，同时关节窝内也发生了细胞增殖层的扩大。

McNamara 等深入研究了体内含有钽植入物的恒河猴^[27-29]，观察到相似的改变，并提出了治疗的时间相关性，这一研究基于翼外肌活动的肌电图监测。观察结果表明，由于软骨是非永久性组织，长时间观察产生额外的骨而不是软骨。这可推断出下颌骨为逐步前移而非一步激活。反复激活翼外肌可造成髌突额外的生长。然而，Sessle 等^[30]在仅含4个样本的研究中提出，逐渐前移下颌骨（每10~15天伸长1.5~2.0mm）对翼外肌、咬肌以及二腹肌前腹肌肉活动产生的影响，与一步激活肌肉活动的影响无明显差异。

这些研究的局限性在于不可能选择骨性Ⅱ类的动物模型，所以研究组功能治疗产生结果的灵长类动物均为反覆盖、真性骨性Ⅲ类，这些改变引出下颌骨增长的结论。一项包含植入物和肌电的研究，在灵长类动物身上使用 Herbst 矫治器后发生显著的咬合纠正，改变主要是上颌骨生长抑制、下颌骨髌突生长以及关节窝重建的联合结果（70%），其他是牙齿的移位（30%）。尽管动物研究有明显的局限性，但这些发现已经被临床研究多方面证实^[32-33]。

其他动物研究

学者们使用啮齿类动物尤其是大鼠也进行了大量有关髌突的研究。人类和大鼠除了明显的形态学差异，也存在重要的生长差异（图1.5），所得结论推导至人类变得更复杂。例如，以X型胶原和毛细血管内皮作为最大下颌骨生长的测量指标。大鼠的生长速度早在38~56d就达到了高峰^[34]。此外，大鼠的牙槽骨密度比人类牙槽骨密度大，仅有骨板而无骨髓腔；且牙周膜纤维的排列也有差异^[35]。虽然，大鼠髌突也有特殊的结构，具有不同的关节盘附着和更大的翼外肌，但是仍可用于评估各种功能性矫治器治疗引起的组织结构改变。Petrovic 等^[36-37]发现在表层纤维软骨下方的增殖层内存在前成软骨细胞，在戴用功能性矫

治器下颌骨处于前伸位置时, 这些前成软骨细胞趋向增殖且总数增加, 外科切断翼外肌阻断了这一改变的发生; 因此翼外肌被认为是引起髁突额外生长的关键因素。这一发现进一步支持肌肉应被逐步激活, 以确保在使用功能性矫治器治疗期间始终能保持额外生长的观念。有人提出, 大鼠的翼外肌较灵长类体积更大且更广泛地附着于骨骼上^[38]。虽然如此, Petrovic 等在大鼠模型上进行了为期 6 周的研究, 下颌骨前移产生时间相关的前成软骨细胞-成软骨细胞增厚, 伴随下颌支下缘到髁突的骨沉积^[39]。

Rabie 等^[40]更深入的体外研究发现髁突内细胞的更多信息, 由翼外肌刺激诱导的生化级联反应造成盘后组织血管浸润。同时也提出了关于胶原合成规则细节。他们同时也观察到软骨内 II 型胶原由 Sox9 基因调控并最终形成 X 型胶原, X 型胶原是软骨内最早发生骨化的胶原。他们发现在置入研究性矫治器后大约 5 个月发生这种骨化作用。大鼠 5 个月的时间在人类或灵长类动物身上相当于更长的时间。因此这些学者主张增加对翼外肌的刺激以诱导髁突内骨额外生长, 在正常发育成熟期产生超出预期的生长。在小鼠模型中 Sox9 基因在 II 型和 X 型胶原转化中具有重要的作用^[41], 髁突高位切除术后的髁突重建中可发现 Sox9 基因的表达上调以及其表达产物。

Rabie 等研究了关节窝发生骨沉积时血管内皮生长因子 (VEGF) 的表达^[42]。发现 VEGF 的表达上调与新骨形成正相关; 研究组均发生了 VEGF 表达上调及新骨形成。因此, 持续位置改变诱发一系列组织应答, 导致血管化增加以及骨骼形成, 这个过程可能由某些未明确的生物物质引起。Tang 和 Rabie 使用相似

的方法发现了软骨成熟和成骨细胞分化所需的转录因子 Runx2, 可调控下颌骨向前生长时软骨内的成骨^[43]。使用 SD 大鼠进行的进一步研究发现在 3~30d 随下颌骨生长成纤维细胞生长相关因子 (FGF8) 的上调^[44]。治疗期间在髁突和关节窝内发现细胞增殖和分化, 在髁突内发生软骨内骨化关节窝内发生膜内成骨而形成骨沉积。

在兔模型上的研究发现基质金属蛋白酶 (MMPs) 的作用, 特别是 MMP-1 和 MMP-13 可分解细胞外基质, 引发软骨细胞扩增和分化进而发生骨沉积^[45]。随下颌前伸发生在关节下腔的 MMP 表达可能受外源性局部控制因子 [如转化生长因子 β (TGF β) 和类胰岛素生长因子] 的影响。在动物模型上使用外源性激素产生定向的下颌骨生长的机制还有待在人类身上证实。

黏弹性理论

Harvold 发明了一种特殊的肌激动器^[45]

(图 1.6), 它通过在垂直方向增加高度, 超过息止殆位, 拉伸面部肌肉及软组织。这种矫治器由多种理论支持, Harvold 认定下颌骨生长可由这种肌肉被动拉伸引起。因此, 这类矫治器被称为肌功能性矫治器。

Woodside 等^[47]使用恒河猴评估固定功能性矫治器的作用, 发现矫治器激活 7~10mm 的下颌前伸移位, 下颌骨长度增加。这主要是关节窝内软骨增殖引起的改变, 这种情况在生长发育的青少年比较多见。双胎垫矫治器和 Herbst 矫治器作用与弹性拉伸力有关^[48], 研究者描述了 3 种生长刺激: 位移、黏弹性以及

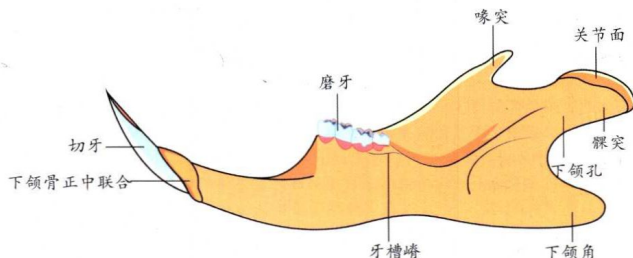


图 1.5 成熟大鼠下颌骨图解。兔和小鼠的下颌骨形态相似, 有着较短的下颌升支和相对显著的下颌角