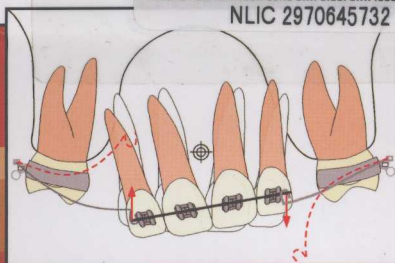
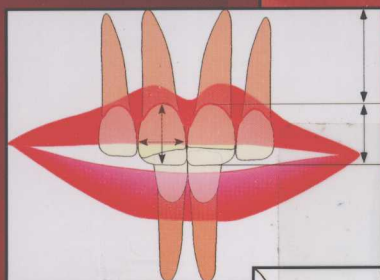


Biomechanics and Esthetic
Strategies in Clinical Orthodontics

临床正畸治疗中的 生物力学与 美学设计原则



原著 / Ravindra Nanda
主译 / 白玉兴



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontics

临床正畸治疗中的 生物力学与美学设计原则

原 著 Ravindra Nanda

主 译 白玉兴

译 者 (以姓氏笔画为序)

王红梅 车晓霞 厉 松 吕 婴
刘 郁 苏 莉 李向东 张若芳
张学军 张栋梁 张海萍 陈 莉
周传丽 周洁珉 封平平 高晓辉
郭宏铭



NLIC 2970645732



人民军医出版社

PEOPLE'S MILITARY MEDICAL PRESS

北 京

图书在版编目(CIP)数据

临床正畸治疗中的生物力学与美学设计原则/(美)楠达(Nanda, R.)原著;
白玉兴主译. --北京:人民军医出版社, 2011.4

ISBN 978-7-5091-4444-2

I. ①临… II. ①楠…②白… III. ①口腔正畸学 IV. ①R783.505

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第222676号

策划编辑:杨化兵 杨淮 文字编辑:韩志 责任审读:伦踪启

出版人:石虹

出版发行:人民军医出版社 经销:新华书店

通信地址:北京市100036信箱188分箱 邮编:100036

质量反馈电话:(010) 51927290; (010) 51927283

邮购电话:(010) 51927260

策划编辑电话:(010) 51927300-8027 (010) 51927260

网址:www.pmmp.com.cn

印、装:三河市春园印刷有限公司

开本:889 mm×1194 mm 1/16

印张:24.5 字数:553千字

版、印次:2011年4月第1版第1次印刷

印数:0001~2000

定价:288.00元

版权所有 侵权必究

购买本社图书,凡有缺、倒、脱页者,本社负责调换

Biomechanics and Esthetic Strategies in Clinical Orthodontics

Ravindra Nanda

ISBN-13: 9780721601960

ISBN-10: 0721601960

Copyright © 2005 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation from English language edition published by the Proprietor.

ISBN-13: 978-981-259-915-5

ISBN-10: 981-259-915-0

Copyright ©2010 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

3 Killiney Road

#08-01 Winsland House I

Singapore 239519

Tel: (65) 6349-0200

Fax: (65) 6733-1817

First Published 2010

2010 年初版

Printed in China by People's Military Medical Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由人民军医出版社与 Elsevier (Singapore) Pte Ltd. 在中国大陆境内合作出版。本版仅限在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区及台湾省）出版及标价销售。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律制裁。

著作权合同登记号：图字-军-2006-018号

内容提要

本书将矫治的美学与生物力学有机地结合起来,为临床医生如何在正畸治疗中合理地应用这些生物力学原则,施加更加有效的矫治力,有效防止各种并发症的发生,获得理想的美学效果提供了科学的指导。全书共分 16 章,包括各种错殆畸形的诊断、治疗设计、正畸治疗的生物力学原则以及治疗后期的精细调整。本书适合正畸医师、医学生学习参考使用。

仅将此书献给 Surender Kumar Nanda 医生！

作为一位出色的丈夫、父亲、兄长、教育家、思想家、教师和朋友，他将毕生献给了口腔正畸学的发展与技术的进步；他一生追求至善至美，并努力帮助他人的潜心发展。

作为一名正畸医生，我们将永远铭记他的卓越贡献！

作者名录

Frank H. Chang, DDS

Department of Orthodontics
School of Dentistry
National Taiwan University
Taipei, Taiwan

Jenny Z. Chang, DDS

Department of Orthodontics
School of Dentistry
National Taiwan University
Taipei, Taiwan

R. Scott Conley, DMD

Assistant Professor
Division of Orthodontics
Vanderbilt University Medical Center
Nashville, Tennessee

Tarisai C. Dandajena, DDS, MS

PhD Fellow
Department of Cell Biology
Research Fellow
Department of Orthodontics
College of Medicine and College of Dentistry
University of Oklahoma Health Sciences Center
Oklahoma City, Oklahoma

Nejat Erverdi, DDS, PhD

Professor and Chairman
Department of Orthodontics
Marmara University
Istanbul, Turkey

John C. Huang, DMD, DMedSc

Assistant Professor
Director of Curriculum
Division of Orthodontics
School of Dentistry
University of California at San Francisco
San Francisco, California

Sunil Kapila, DDS, MS, PhD

Professor and Chair
Department of Orthodontics and Pediatric Dentistry
School of Dentistry
University of Michigan
Ann Arbor, Michigan

Robert G. Keim, DDS, EdD

Associate Dean, Advanced Studies
University of Southern California
School of Dentistry
Editor, Journal of Clinical Orthodontics
Associate Professor
University of Southern California
Rossier School of Education
Los Angeles, California

Ahmet Keles, DDS, DMSc

Associate Research Investigator
The Forsyth Institute
Boston, Massachusetts

Gregory J. King, DMD, DMSc

Professor and Chairman
Department of Orthodontics
School of Dentistry
University of Washington
Seattle, Washington

Vincent G. Kokich, DDS, MSD

Professor
Department of Orthodontics
School of Dentistry
University of Washington
Seattle, Washington

Vincent O. Kokich, DMD, MSD

Affiliate Assistant Professor
Department of Orthodontics
School of Dentistry

■ 作者名录

University of Washington
Seattle, Washington

Andrew Kuhlberg, DMD, MDS

Assistant Professor
Department of Orthodontics
School of Dental Medicine
University of Connecticut Health Center
Farmington, Connecticut

Harry L. Legan, DDS

Professor and Director
Division of Orthodontics
Vanderbilt University Medical Center
Nashville, Tennessee

Ram S. Nanda, DDS, MS, PhD

Professor and Endowed Chair
Department of Orthodontics
College of Dentistry
University of Oklahoma Health Sciences Center
Oklahoma City, Oklahoma

Ravindra Nanda, BDS, MDS, PhD

UConn Orthodontic Alumni Endowed
Chair
Professor and Head
School of Dental Medicine

University of Connecticut Health Center
Farmington, Connecticut

Jill Bennett Nevin

Doctoral Candidate
Annenberg School for Communication
University of Southern California
Los Angeles, California

Junji Sugawara, DDS, PhD

Associate Professor
Department of Orthodontics and Dentofacial
Orthopedics
Tohoku University
Sendai, Japan

Flavio Andres Uribe, DDS, MDS

Assistant Professor
Department of Orthodontics
School of Dental Medicine
University of Connecticut Health Center
Farmington, Connecticut

Bjørn U. Zachrisson, DDS, MSD, PhD

Professor
Department of Orthodontics
University of Oslo
Oslo, Norway

前言

在过去的 20 多年中,无论是我们正畸医生,还是其他医学专业人员,甚至是普通的公众,都对美学给予了越来越多的关注,而且这种关注的程度还在与日俱增。虽然对美学的判定具有一定的主观性,而且也存在种族之间的差异性,但仍可针对美貌人群概括并定义出一些特征。在矫治任何错殆的诊断、治疗设计以及矫治器设计的过程中,都应该充分考虑到这些特征。

作为一本正畸教科书,本书第一次将正畸治疗中的两个重要方面,即矫治的美学与矫治的生物力学,有机地结合了起来。众所周知,在任何正畸矫治器的设计中,生物力学的考虑是非常重要的一个方面,而本书则就如何根据生物力学设计的矫治器获得理想正畸治疗中的美学目标进行重点阐述。本书还将介绍一些简单的正畸矫治器设计,并很容易将这些设计与目前现行的正畸矫治技术以及理论进行结合。

本书是对我们在 1996 年出版的《临床正畸生物力学》(*Biomechanics in Clinical Orthodontics*)一书的补充。本书中只有 2 个章节是在原书基础上进行的扩充和更新,而另外 16 个章节都是新增加的内容。本书的作者都是该领域公认的专家,而本书中涉及的内容广泛,包括各种错殆畸形的诊断、治疗设计、正畸治疗的生物力学原理以及治疗后期的精细调整等诸多方面。

在本书中,Huang 医生、King 医生以及 Kapila 医生介绍了有关正畸牙齿移动生物学机制的最新理论。Keim 医生则就正畸治疗中有关颜面美学的社会心理问题进行了论述,虽然这方面的问题日趋重要,但在以往的正畸文献中还几乎未进行过如此全面深入的讨论。Zachrisson 医生简明地论述了一个经过审慎设计的正畸治疗方案是如何取得良好美学治疗效果的。Ram Nanda 和 Dandajena

医生针对Ⅱ类错殆的各种治疗手段进行了综合性的评论。对于Ⅲ类错殆的治疗,本书中由 Sugawara 和 Chang 医生撰写了 3 章。骨性支抗和绝对支抗是当今正畸学界的一个热门话题,Erverdi 医生、Keles 医生和 Sugawara 医生以 2 个章节的篇幅进行了论述。Legan 和 Conley 医生的章节则涉及了外科正畸联合治疗中的生物力学考虑。Kokich 和 Kokich Jr 医生强调了在正畸治疗中,牙周治疗和牙体修复治疗对获得美学治疗效果的重要性。作为我的同事,Kuhlberg 和 Uribe 医生,与我共同圆满完成了本书中的 7 个章节。

本书将殆学与功能美学的概念有机结合,将美学治疗主题循序渐进地贯穿到了诊断与治疗计划的各个过程中。书中以大量的病例,配以高质量的彩色照片,对各类错殆的治疗以及矫治器的设计进行了介绍。另外,书中也包括了许多著名正畸专家和学者针对当今正畸领域中诸多问题的真知灼见。正畸治疗中,如果遵循书中所介绍的美学原则与生物力学原则进行矫治器设计,那么就可获得具有良好可预测性的治疗效果。

正畸研究生、医生以及开业医生都将会从本书中获得有关正畸学诸多重要方面的有关信息。经过 3 年多艰苦不懈的努力工作,我非常高兴,也非常骄傲地将本书呈献给各位读者。由衷地感谢参与本书编写的所有人员!衷心希望所有读者能接受这本书,并从中受益,正如我们所有作者一样,通过本书的编写工作,我们也从中受益匪浅!

Ravindra Nanda

2004 年 12 月
于美国康涅狄格州法明顿

致 谢

首先，我要衷心感谢参与本书编写的所有作者们，他们从各自繁忙的工作中抽出宝贵时间，针对正畸学领域中的多个专题，为本书撰写了内容丰富而完美的章节。他们这种精益求精的专业奉献精神值得我们敬仰。

我从内心感谢我的同事 Flavio Uribe 医生，在本书的整个策划与编辑工作中，他始终都给予了我无私的帮助。与他多年的一起工作使我欣喜地看到，有了像他这样一批年轻的正畸骨干，我们专业的未来充满了光明。Andy Kuhlberg 医生为本书 3 个章节的撰写做出了极好的工作，而且他在 10 多个章节中展现了他卓越的计算机设计与操作技术。

特别感谢我的住院总医师 Erin Kazmieski-Furno 医生，她从未拒绝我的任何要求。她花费了难以计数的时间扫描了成百上千的照片，并帮助我编辑整理了书中大量的图表。

从个人角度，我要衷心地感谢 Perry Haque，

Lindsay Brehm 和 Paul Blanchette，他们在过去的几年中，都从不同角度给予了我大量的帮助。

我也要对我 125 位先后的校友表达由衷的感谢之情，感谢他们给予的无私帮助。同时，我也借此机会感谢他们在设立康涅狄格大学正畸校友会 / Ravi Nanda 正畸学主任时在经济上给予的大力支持。这是一种莫大的荣幸，对于一个教师来说，我已经很知足了。

的确，我也非常赞赏 Elsevier 出版公司的执行编辑 Penny Rudolph，是他首先认识到并建议我应该在《临床正畸生物力学》(*Biomechanics in Clinical Orthodontics*) 一书的基础上再编写一本新书。同样地，我也要忠心感谢该公司的高级发展编辑 Jaime Pendill，是他一直在督促着我们这些作者们按时完成这项工作。

最后，最特别的感谢要献给我的妻子 Catherine，是她在每一个阶段都给予了我坚强的支持，使我最终能圆满完成本书的所有工作。

Ravindra Nanda

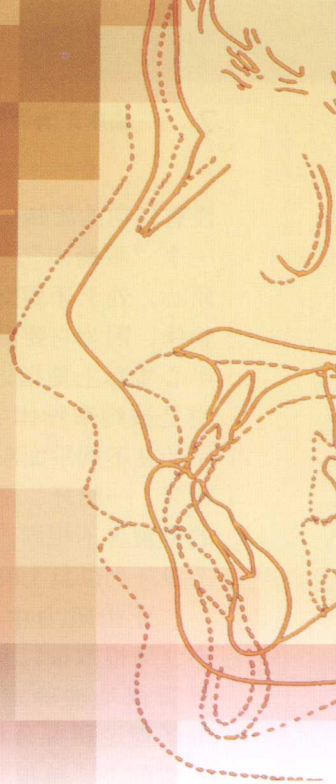
目 录

第 1 章	生物力学的基本原理	1
第 2 章	正畸牙齿移动的生物学机制	18
第 3 章	个性化的正畸诊断	39
第 4 章	个性化的正畸治疗计划	76
第 5 章	面部容貌的社会心理学	96
第 6 章	牙列美学以及微笑设计	111
第 7 章	深覆殆的矫治	132
第 8 章	开殆的矫治	158
第 9 章	非拔牙矫治安氏 II 类错殆的生物力学考虑	180
第 10 章	关闭拔牙间隙中的生物力学基础	198
第 11 章	发育期安氏 III 类错殆的临床治疗方针	215
第 12 章	发育期安氏 III 类错殆的治疗策略	249
第 13 章	改良前方牵引的生物力学特征	270
第 14 章	正畸支抗与骨种植体	284
第 15 章	正畸骨支抗系统的有效性	301
第 16 章	外科正畸治疗中的生物力学因素	317
第 17 章	正畸治疗结束阶段的生物力学策略	337
第 18 章	正畸与牙周、牙体修复的协同治疗	356

第1章

生物力学的基本原理

Andrew Kuhlberg, Ravindra Nanda



正畸牙齿移动源于正畸矫治力的施加，而正畸矫治力又是由各种正畸矫治器产生的。在正畸矫治力的作用下，牙齿及其支持组织发生了一系列复杂的生物学反应，并最终引起牙齿在骨组织中的移动。矫治力引起牙周组织细胞的反应，且这些细胞的实际反应程度仅仅与其环境中的压应力与张应力有关，而对矫治器中托槽的设计、矫正弓丝的形态或者材质并不敏感。只有施加精确的矫治力，才能获得更加精确的预期生物学反应。鉴于生物学系统本身所具有的复杂性和可变性，就要求临床医生必须对施加的矫治力进行更为精确的控制，同时尽可能避免矫治过程中的一些不确定因素，从而降低矫治结果的可变性。因此，有关生物力学的基本知识与原理是学习任何正畸治疗技术的必备内容。

任何正畸治疗的基础是就在于将生物力学的基本概念与原理灵活地应用在临床治疗中。力学是研究物体在受力状态下产生效应的一门学科；而生物力学则是在研究生物体系中的一门力学分支学科。正畸治疗中，正畸医生通过各种类型的矫治器将矫治力施加到预期移动的牙齿上，这与内科医生通过应用各种药物以达到治疗疾病的目的相类似。而应用各种药物的目的，就是通过机体产生的特殊生物学反应从而消除或缓解患者的某些症状。为了获得理想的预期临床治疗效果，临床医生首先必须全面了解药物本身的药效机制。同样，为了达到理想和

成功的正畸治疗效果，正畸医生必须合理地选择和

应用正畸矫治力系统。

众所周知，一般的正畸治疗疗程通常在2年左右，但关于疗程问题存在很多争议；这是因为在实际的治疗中，其实很多时间都是浪费在解决矫治力引起的副作用上了（也就是不期望的牙齿移动）。一些矫治未取得很好的效果，究其原因，与正畸医生不能准确地控制矫治力有很大关系；当然，其中或许也包括着患者合作性欠佳的因素。如果正畸医生能够从生物力学的理念出发进行临床矫治，不仅可以极大地缩短疗程，而且能够制定出更加个体化的矫治方案，从而获得具有可预测性的治疗效果。总之，在正畸临床中，如果能合理有效地运用生物力学的基本原理指导临床治疗，就可以帮助我们制定更加合理的矫治方案和矫治设计以最终提高正畸治疗的效率。

一、正畸学中的力学概念

为了更加全面理解与正畸临床治疗相关的生物力学原理，我们首先需要掌握一些基本的力学概念。

第一个概念就是阻力中心(center of resistance)。每个物体都有其自身的一个质心(center of mass)，而质心就是自由物体中的某一点，力量通过该点只能引起物体产生直线运动，而

没有任何的旋转运动；换言之，质心就是物体中的一个“平衡点”。图 1-1A 所示为一个自由物体的质心。处于牙周支持组织中的牙齿并不是一种自由物体，因为它要受到牙周组织的约束。因此，阻力中心实际上是指处于一定约束条件下物体的质心，它是被约束物体中的“平衡点”。图 1-1B ~ D 所示为在不同平面观察单根牙时阻力中心的位置。单根牙、一组牙、全部牙列、上下颌骨，其阻力中心的位置各不相同。图 1-2 所示为由两个牙齿组成的节段牙列以及上颌骨阻力中心的大约位置。

牙齿阻力中心的位置与牙根长度、牙根形态、牙根数量以及牙槽骨高度水平有关（图 1-3）。尽管很难准确定位某个牙齿的阻力中心，然而很多理论研究分析已经表明，在牙槽骨高度正常的情况下，单根牙的阻力中心位于从釉牙骨质界（cemento-enamel junction, CEJ）向根尖方向上的 $1/4 \sim 1/3$ 的位置处^[1-6]。相关研究也估算出

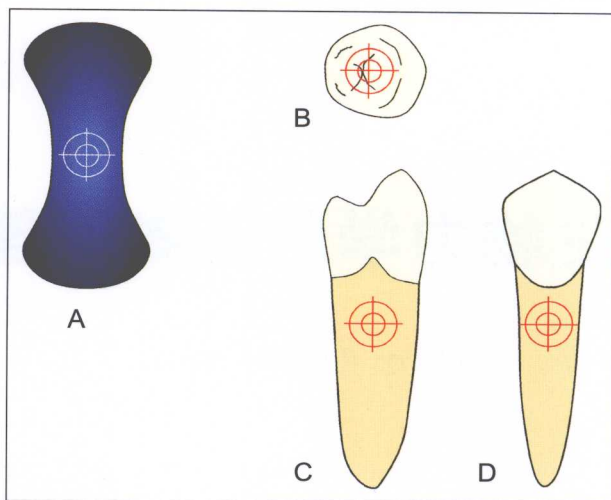


图 1-1 阻力中心

A. 自由物体的质心；B. 骶面观单根牙的阻力中心；C. 近远中面观单根牙的阻力中心；D. 唇颊观单根牙的阻力中心

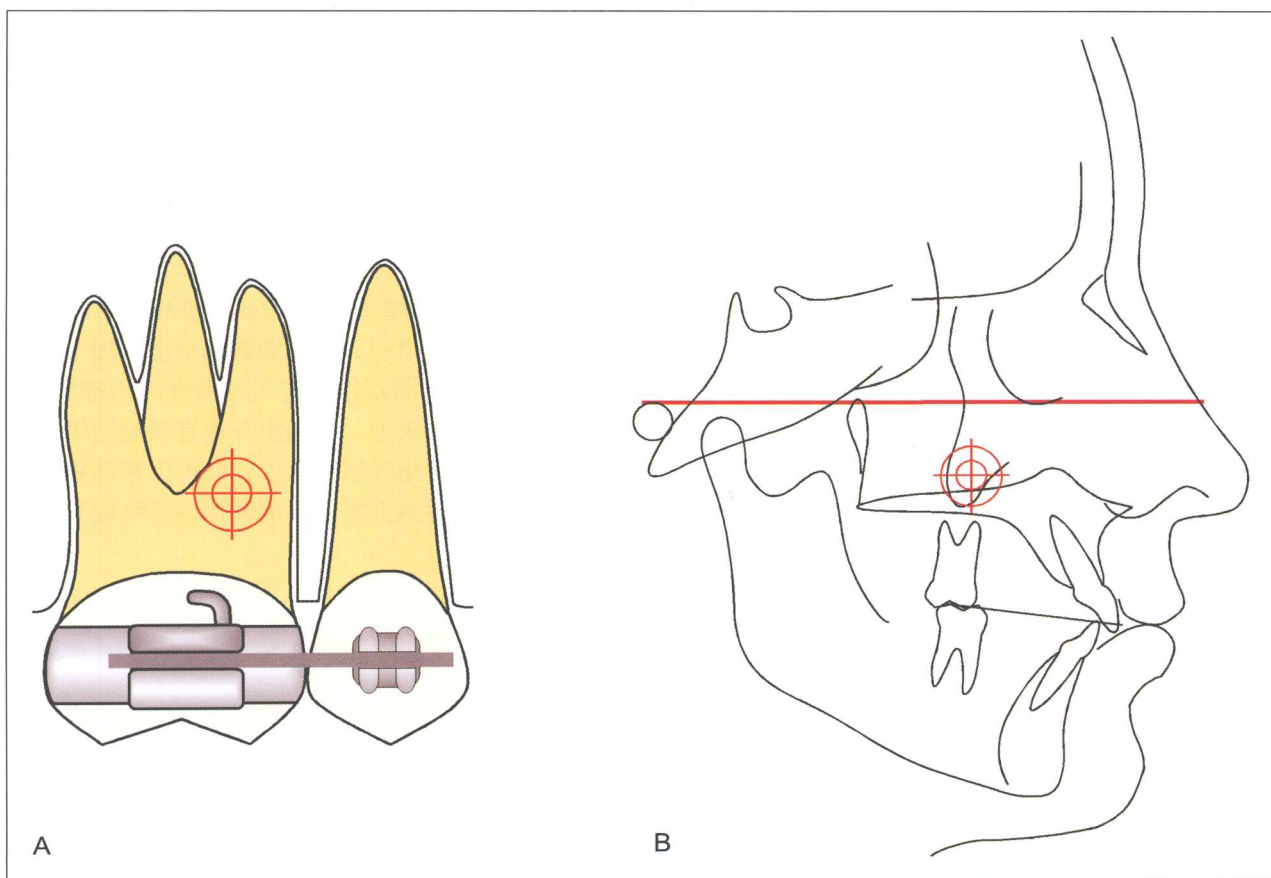


图 1-2 A. 两个牙齿组成节段牙列的阻力中心；B. 上颌骨的阻力中心

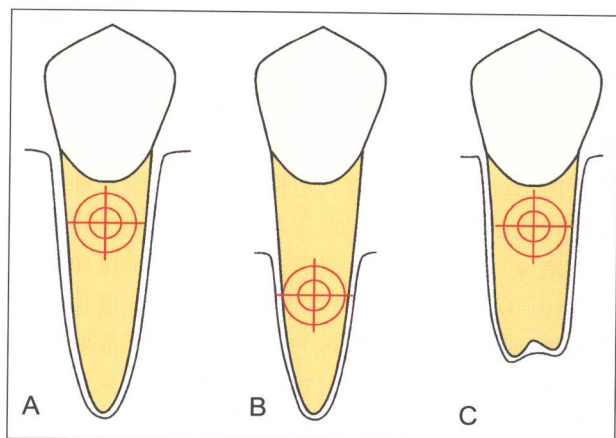


图 1-3 牙齿阻力中心位置与牙槽骨高度及牙根长度的关系

A. 牙槽骨高度以及牙根长度正常时阻力中心的位置；
B. 牙槽骨吸收时阻力中心的位置；C. 牙根吸收导致牙根长度变短时阻力中心的位置

颅面部颌骨（如上颌骨）、牙弓、节段牙列阻力中心的位置^[7]。有实验与理论研究表明，在压低上颌前牙时，上颌骨阻力中心的位置接近于上颌骨眶下缘、上颌侧切牙牙根远中附近^[5, 6]。

尽管我们不能精确定位牙齿或牙列阻力中心的位置，但我们在临床上选择与应用各种矫治器时，必须对某个牙齿或者某段牙列阻力中心的位置有一个清楚的认识，这对于我们的临床治疗非常重要。施加的矫治力系统与牙齿阻力中心的位置关系决定着最终牙齿移动的方式，有关这方面的内容我们将在下文中进行详细探讨。

由于矫治力的作用才引起牙齿的移动，而力是施加在物体上的一种作用。力的大小等于质量与加速度的乘积（即 $F = ma$ ），因此力的单位是牛顿（N）或者克（g） $\times$ 毫米/秒（mm/s）^[8]。由于临床上加速度通常与矫治力的大小关系不大，因此正畸临床上力的单位用克来表示。力是一种矢量，自然就具有矢量的特性^[9]：即大小和方向（图 1-4）。力矢量的长短代表力的大小，而力的方向则是力矢量箭头代表的方向，其起点代表矢量的初始点（或者施力点）。临床上产生正畸矫治力的方法有很多种，包括正畸弓丝弯曲变形后产生的矫治力以及由各种螺旋簧或者弹性橡皮圈产生的矫治力等。

多个矢量可以相互叠加形成合矢量（图 1-5）。由于矢量同时具有大小和方向，因此矢量的叠加并



图 1-4 力的矢量特点，包括力的大小、作用线、作用点以及力作用的方向

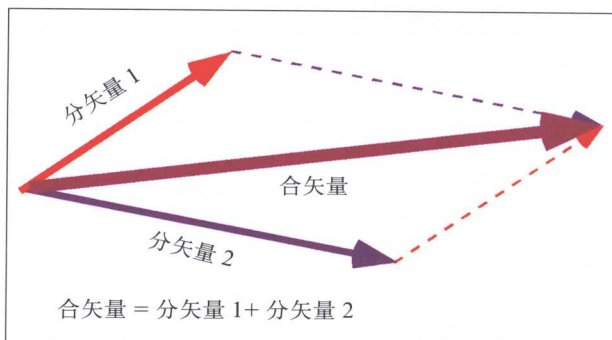


图 1-5 矢量的叠加方法。两个或多个矢量相加就是合矢量。在保持原有每个矢量大小和方向的基础上，将各个矢量进行“首尾相连”，就获得了合矢量

不是简单的数字上的相加。在保持矢量大小和方向不变的基础上，将其中一个矢量的起点与另一个矢量箭头的终点相叠加，这样以第一个矢量的箭头起点为起点，以最后一个叠加矢量的箭头终点为终点，连接以后就形成了叠加后的最终合矢量。矢量的叠加需要按照三角几何的方式来计算。

合矢量可以按照 X、Y、Z 三角坐标轴的方向分解为多个分矢量，合力的分解也是这样的（图 1-6）。如果临床医生能够从 3 个方向，即水平向、垂直向和横向来分析施加矫治力的效果时，就会更加有助于准确了解牙齿最终的移动方向。同样，这也需要采用三角几何的方法计算出各个分力的大小。

通常，正畸矫治力是施加在牙冠上的，并不通过牙齿的阻力中心。因此，这种不通过牙齿阻力中的矫治力不仅仅产生牙齿的直线移动，同时，由于力矩（moment）的作用使牙齿产生旋转运动。力矩等于矫治力与从阻力中心到矫治力垂直距离的乘积（图 1-7）。力矩引起牙齿以阻力中心为原点、按照力的作用方向的旋转移动（图 1-7）。力矩的单位是 $\text{g} \cdot \text{mm}$ （或 $\text{N} \cdot \text{mm}$ ）。很多正畸医生在临

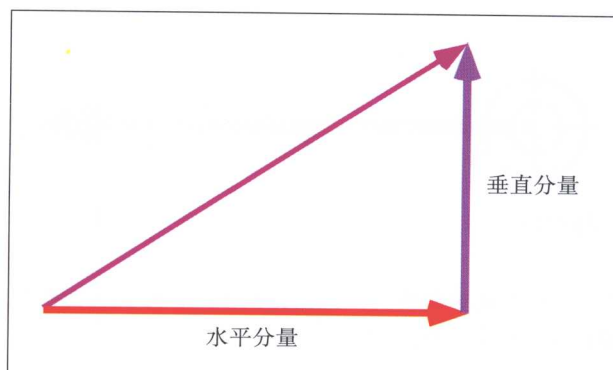


图 1-6 矢量的分解。每个矢量可以按照参考坐标轴进行分解分析

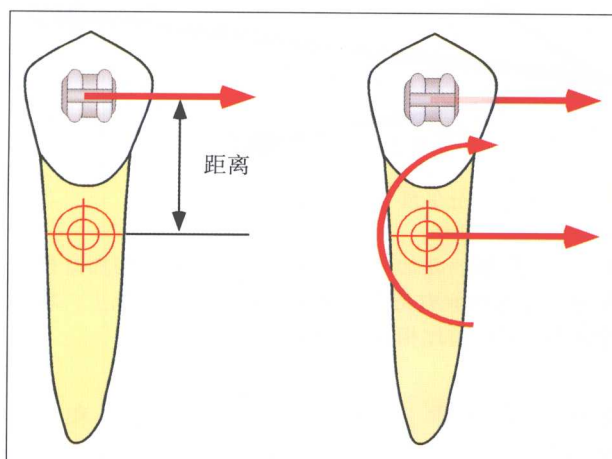


图 1-7 力矩的概念。未通过牙齿阻力中心的矫治力会使牙齿产生直线移动的同时，也会产生旋转移动

床治疗中常常忽略力矩的理念，而如果能全面理解力矩的重要性并应用于临床治疗，则可以帮助临床医生进行更加有效和全面的矫治器设计^[9]。

力矩的大小是由力的大小和力距离阻力中心的垂直距离所决定的（图 1-8），通过有效控制这两个因素就可使临床医生设计出更加理想的矫治力系统。

另一个获得旋转运动的方法就是应用力偶(couple)，见图 1-9。所谓力偶，就是指作用于同一个物体的两个力、大小相等方向相反且间隔一段距离。力偶等于作用力与两个作用力之间距离的乘积，力偶的单位是 $g \cdot mm$ 。由力偶引起的旋转移

动，其旋转方向由相对的两个力围绕阻力中心而决定的。无论力偶是否直接作用在物体上，力偶的效应是只能引起物体单纯的旋转移动（图 1-10）。正畸临床治疗中常常会应用到力偶的概念，例如转矩(torque)就是力矩（包括力矩和力偶）在正畸治疗中的典型应用。很多正畸医生错误地将转矩的单位定义为角度，这是错误的，转矩的单位应该是 $g \cdot mm$ （即力与距离的乘积）。临床医生通过弯制弓丝或调整托槽的角度等方法产生矫治所需要的转矩。使用力矩的概念可以更清晰地描述临床各种矫治器设计和矫治力体系的特征^[9]。

二、等效力体系

正畸医生通常将矫治力或者力偶(力矩或转矩)施加在托槽上，而矫治力大多来源于矫正弓丝、弹性橡皮圈或者各种螺簧等。如何确定牙齿在不同矫治力作用下发生的移动方式呢？最有效的一个方法就是将加载在托槽上的矫治力等量换算至牙齿的阻力中心处，这种方法就是等效力体系方法。通过等效力体系方法，以阻力中心的受力体系为依据，来研究将矫治力施加到托槽时的受力情况。单纯加载至阻力中心的矫治力使牙齿产生直线移动，而单纯的力偶产生旋转移动^[7]。

确定阻力中心等效力体系的方法其实很简单（图 1-11）。首先，不考虑力的作用位置，保持原有力的大小和方向将力的作用点移至阻力中心。此外，由于矫治力作用于托槽上而不通过阻力中心，因而还应考虑力矩的问题。力矩等于施加的矫治力与阻力中心至施力作用线垂直距离的乘积（如上所述）。力偶的大小、方向与施力点无关。作为一种自由矢量，力偶可以使物体围绕着阻力中心发生旋转移动，而旋转效果与作用于物体的部位无关。这样，可在阻力中心处综合分析矫治力产生的力矩与直接施加的力矩，而两者的叠加就是施加在牙齿上的合力矩。最终的矫治力体系就决定了牙齿的移动方向。通过等效力体系的确定，可以获得理想且可预测的牙齿移动，但前提是需要正畸医生对施加在牙齿的矫治力和力矩有一个清楚的认识。

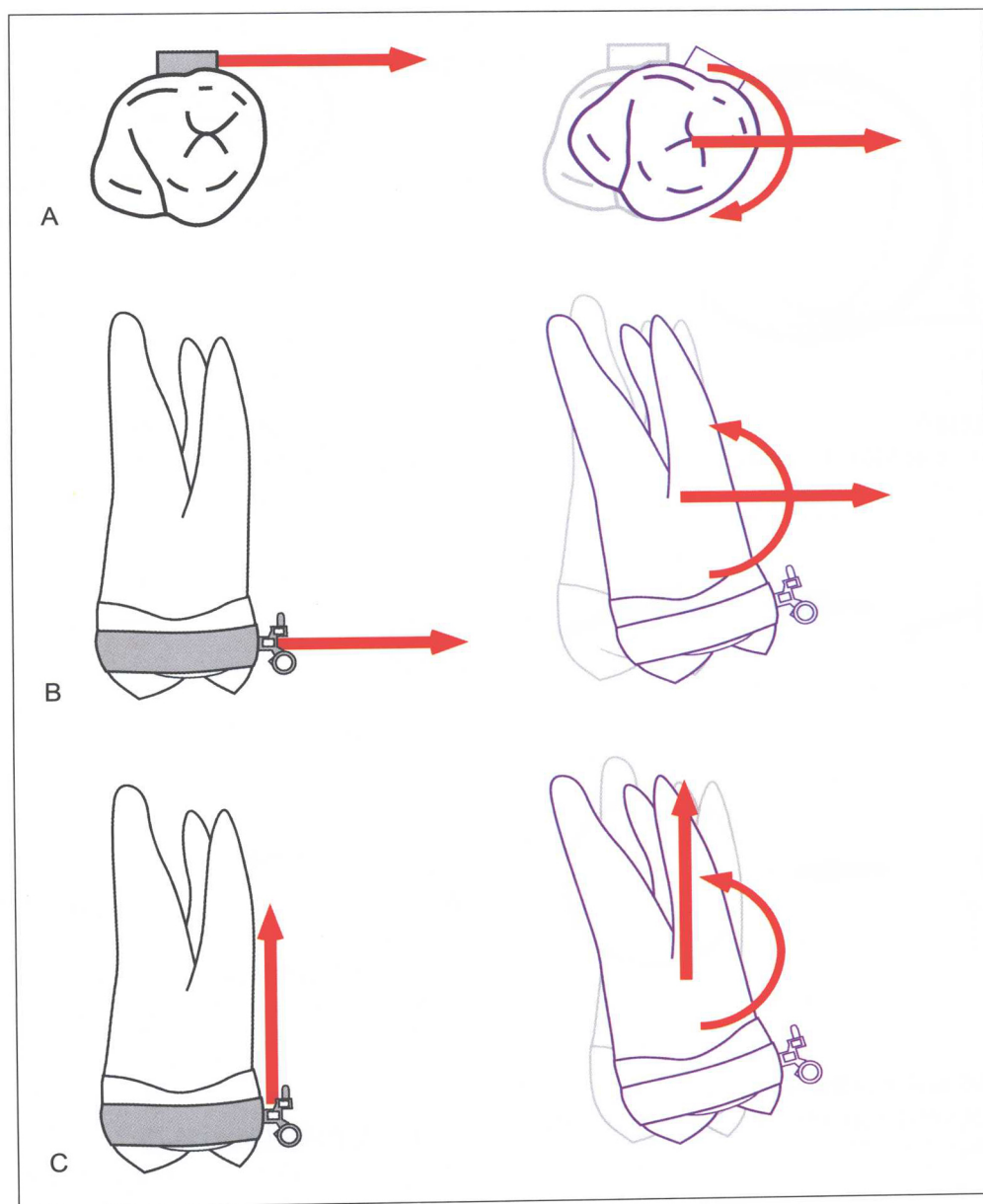


图 1-8 临床上常见的力矩现象

A. 施加在磨牙颊面近中方向的矫治力可引起磨牙向近中腭向扭转；B. 施加在磨牙上的颊向力量可使磨牙向颊侧倾斜；C. 在磨牙颊面施加的压入矫治力也可使磨牙向颊侧倾斜（经作者允许使用，引自：Nanda R. Biomechanics in clinical orthodontics. Philadelphia: WB Saunders, 1996）

三、牙齿移动的方式

描述牙齿移动有很多种方法，但各种类型的牙齿移动都可归纳为以下4种移动方式，即倾斜移动、整体移动、控根移动和旋转移动。每种移动方式都是作用于牙齿上的矫治力和力矩的综合效果（包括力的大小、方向、施力点）。力和力矩的关系可以

用二者之间的比值来描述，也就是力矩/力比值（moment/force）。力和力矩的比值决定着牙齿移动的方式^[2, 3, 9~12]。牙周支持组织的状况也影响着牙齿移动的方式，其中牙根吸收和牙槽骨吸收都会影响施加在牙齿上力和力矩的比值，从而改变了牙齿的移动方式。

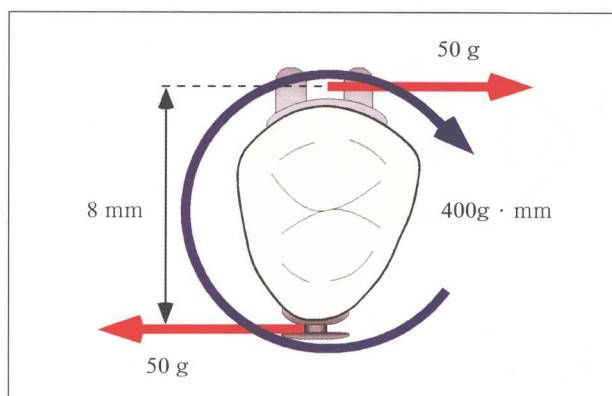


图 1-9 力偶的概念
力偶使牙齿产生围绕阻力中心的单纯旋转

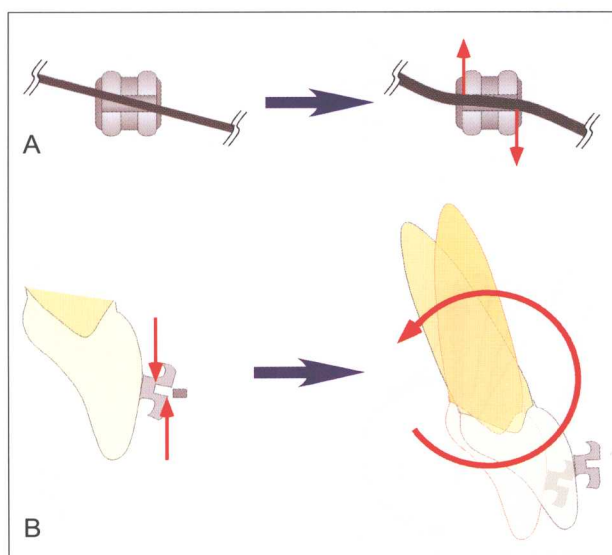


图 1-10 力偶在临床上的常见应用
A. 将弓丝放入倾斜托槽内时产生的力偶；B. 将方形弓丝放入托槽沟内时产生的力偶

（一）倾斜移动（tipping）

如果牙冠移动的范围大于牙根的移动，此种牙齿移动就是倾斜移动。牙齿发生倾斜移动时，其旋转中心位于阻力中心的根方。根据旋转中心的位置，可以将倾斜移动进一步分为无控制性倾斜移动（uncontrolled tipping）和控制性倾斜移动（controlled tipping）。无控制性倾斜移动的旋转中心位于阻力中心和牙齿根尖之间，控制性倾斜移动的阻力中心位于根尖处。

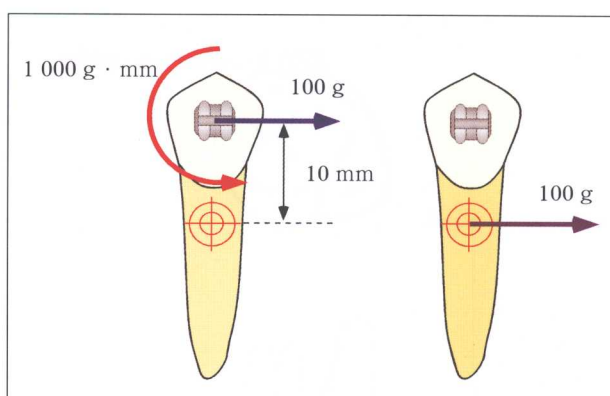


图 1-11 位于牙齿阻力中心处的等效力体系
A. 施加在托槽上的矫治力系统；B. 通过分析阻力中心处的矫治力系统来描述预期的牙齿移动

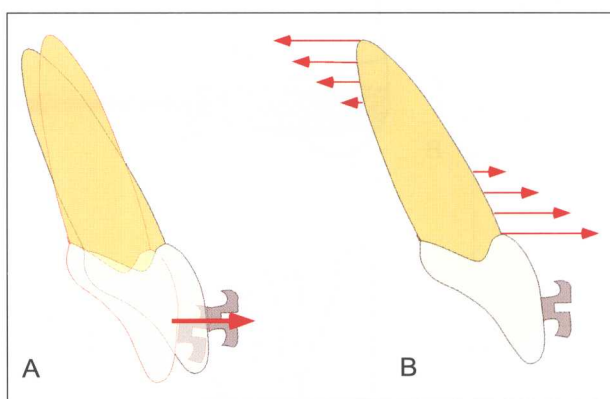


图 1-12 无控制性倾斜移动
A. 单纯的矫治力（无任何力矩）引起无控制性倾斜移动；
B. 牙周膜的应力分布模式表明，牙根和牙冠呈相反方向的移动

1. 无控制性倾斜移动

在托槽上施加一个水平向的舌向矫治力会得牙冠和牙根向相反方向移动。虽然这是临床上最容易获得的牙齿移动方式（可通过在牙冠上施加单纯的唇向或者舌向矫治力而获得），但通常不是最理想的，这种类型的倾斜移动称为无控制性倾斜移动（图 1-12A）。图 1-12B 所示为无控制性倾斜移动时的牙根应力分布模式；应力分布呈非均匀性，最大应力区位于牙冠和根尖处。产生这种倾斜移动的力矩 / 力的比值在 0:1 ~ 5:1 之间^[1, 9]。（在计算力矩 / 力比值时，是在假设牙根长度和牙槽骨高度正常的前提下）

在有些情况下，临床矫治中需要这种无控制性倾斜移动，如在矫治安氏 II 类 2 分类或安氏 III 类