

(美) 穆罕默德·特拉白哲德
(Mahmoud Torabinejad)

(美) 理查德·华生
(Richard E. Walton)

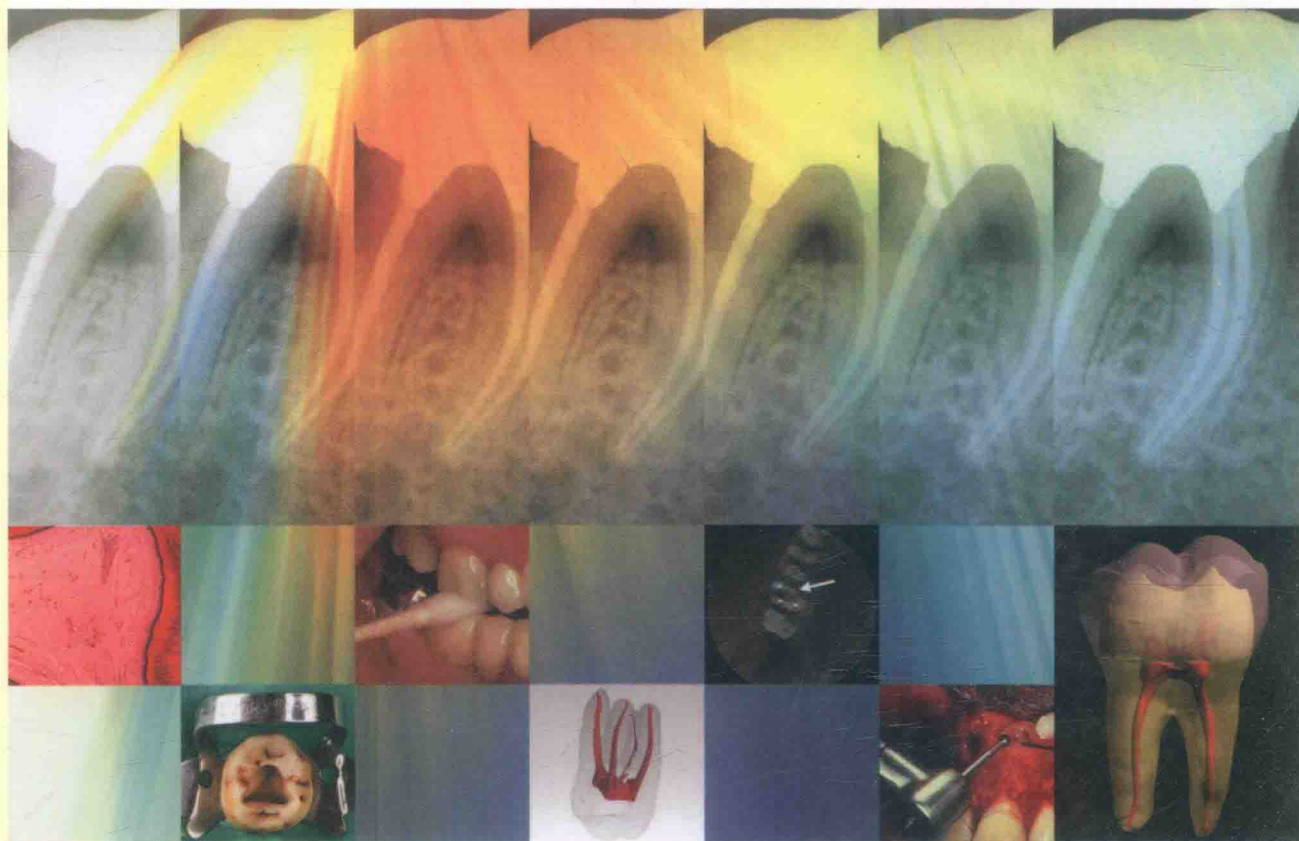
(美) 阿什拉夫·浮阿德
(Ashraf F. Fouad)

主编

第5版

牙髓病诊疗 Endodontics

原理与实践 PRINCIPLES AND PRACTICE



周学东 主审

高原 主译
薛晶

NJ 北方联合出版传媒(集团)股份有限公司

辽宁科学技术出版社

第5版

牙髓病诊疗 Endodontics

原理与实践

PRINCIPLES AND PRACTICE

(美) 穆罕默德·特拉白哲德

(Mahmoud Torabinejad)

(美) 理查德·华生

(Richard E. Walton)

(美) 阿什拉夫·浮阿德

(Ashraf F. Fouad)

主编

周学东 主审

高原 主译
薛晶

北方联合出版传媒(集团)股份有限公司

辽宁科学技术出版社

沈阳

图文编辑:

王 辉 王玉林 杨 春 杨志强 于英楠 张秀月 林铭新 蔡贤华 夏平光 黄卫兵 丁 然 胡 昊 吴 刚 熊承杰
黄 明 施立奇 王华松 魏世隼 陈 磊 汪国栋 兰生辉 康 辉 姚年伟 齐凤宇 肖 艳 彭 闯 伏建斌 郑哲甲
邓海涛 杜玉洁 高亮亮 胡军宝 纪守琪 刘兴环 柳 峻 邱 朔 屈建民 刘 维 曹 强 宋 华 许 飞 倪大鹏
涂有水 孙显锋 金晓虎 马 佳 刘 颖 李 宁 佟 放 张 寻 孙明亮 王鼎钊 王 刚

ENDODONTICS: PRINCIPLES AND PRACTICE

ISBN: 978-1-4557-5410-6

Original English language Edition.

Copyright © 2015 by Saunders, an imprint of Elsevier Inc.

All Rights Reserved. Authorized translation from English language edition to be sold only in mainland China, excluding Hong Kong SAR and Taiwan. Copyright ©2015 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

©2017, 简体中文版权归辽宁科学技术出版社所有。

本书由Elsevier (Singapore) Pte Ltd授权辽宁科学技术出版社在中国出版中文简体字版本。著作权合同登记号: 第06-2017-26号。

版权所有·翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

牙髓病诊疗原理与实践: 第5版 / (美) 穆罕默德·特拉白哲德 (Mahmoud Torabinejad), (美) 理查德·华生 (Richard E. Walton), (美) 阿什拉夫·浮阿德 (Ashraf F. Fouad) 主编; 高原, 薛晶主译. —沈阳: 辽宁科学技术出版社, 2017.5

ISBN 978-7-5591-0118-1

I. ①牙… II. ①穆… ②理… ③阿… ④高… ⑤薛 III. ①牙髓病—诊疗 IV. ①R781.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第052879号

出版发行: 辽宁科学技术出版社

(地址: 沈阳市和平区十一纬路25号 邮编: 110003)

印刷者: 北京利丰雅高长城印刷有限公司

经销者: 各地新华书店

幅面尺寸: 210mm × 285mm

印 张: 30.25

插 页: 4

字 数: 650千字

出版时间: 2017年5月第1版

印刷时间: 2017年5月第1次印刷

责任编辑: 陈 刚

封面设计: 袁 舒

版式设计: 袁 舒

责任校对: 李 霞

书 号: ISBN 978-7-5591-0118-1

定 价: 298.00元

投稿热线: 024-23280336

邮购热线: 024-23280336

E-mail: cyclonechen@126.com

http://www.lnkj.com.cn

译者名单

Translators



高原 博士，国家临床重点专科——四川大学华西口腔医院牙体牙髓病科副教授，硕士研究生导师。2008年毕业于武汉大学口腔医学院，获得口腔医学博士学位。同年进入四川大学华西口腔医院口腔疾病研究国家重点实验室进行博士后研究工作。2010年、2012年、2013年、2016年期间分别于中国香港大学、美国宾夕法尼亚大学、美国加州先进牙髓病培训中心、加拿大英属哥伦比亚大学牙学院进行临床研修与培训学习。近年来，承担国家自然科学基金项目1项，获得国家专利授权3项，发表牙髓病相关英文论文20余篇，分别主译、副主译专著各1部。研发了显微根管治疗重要临床器械MR&R根管治疗并发症微处理系统。长期从事牙髓病临床医疗、科研教学与培训工作，具有丰富的经验与独到的见解。



薛晶 博士，国家临床重点专科——四川大学华西口腔医院牙体牙髓病科副主任医师。2004年本科毕业于四川大学华西口腔医学院。2009年毕业于四川大学华西口腔医学院，获口腔医学博士学位。曾赴澳大利亚悉尼大学牙学院、美国加州大学洛杉矶分校牙学院及美国华盛顿克雷格研究所等机构研修。长期致力于牙体牙髓疾病的基础与临床研究、口腔微生物菌群研究及牙体硬组织早期病变的修复研究。已在国内外相关牙体牙髓学术刊物发表论文10余篇，参编牙体牙髓相关专著5部。在牙体牙髓病学领域一直致力于医、教、研工作，对牙髓病的诊治和龋病有较深入的研究和丰富的临床经验。

主审：周学东

主译：高原 薛晶

副主译：马净植 屈铁军 黄湘雅 刘贺

译者：（按姓名首字笔画为序）

马净植（华中科技大学同济医学院附属同济医院）

王祖华（北京大学口腔医学院）

叶玲（四川大学华西口腔医学院）

叶惟虎（华中科技大学同济医学院附属同济医院）

刘贺（济宁医学院附属医院）

苏征（首都医科大学口腔医学院）

李继遥（四川大学华西口腔医学院）

杨俊（武汉大学口腔医学院）

闵艺（武汉大学口腔医学院）

屈铁军（第四军医大学口腔医学院）

高原（四川大学华西口腔医学院）

唐子圣（上海交通大学口腔医学院）

黄定明（四川大学华西口腔医学院）

黄湘雅（中山大学光华口腔医学院）

彭琳（四川大学华西口腔医学院）

鲍萍萍（天津市口腔医院）

薛晶（四川大学华西口腔医学院）

作者名单

Contributors

George Bogen, DDS

Lecturer
Department of Endodontics
Loma Linda University
Loma Linda, California
University of California
Los Angeles, California

Nestor Cohenca, DDS

Tenured Professor
Endodontics and Pediatric Dentistry
School of Dentistry
University of Washington
Seattle, Washington

Paul D. Eleazer, DDS

Professor, Chair, Program Director
Department of Endodontics
University of Alabama at Birmingham
Birmingham, Alabama

Ashraf F. Fouad, BDS, DDS, MS

Department of Endodontics
Prosthodontics and Operative Dentistry
School of Dentistry
University of Maryland
Baltimore, Maryland

Charles J. Goodacre, DDS

Professor
Restorative Dentistry
School of Dentistry
Loma Linda University
Loma Linda, California

Robert Handysides, DDS

Associate Dean for Academic Affairs
School of Dentistry
Loma Linda University
Loma Linda, California

Eric J. Herbranson, DDS, MS

Lecturer
Department of Endodontics
School of Dentistry
Loma Linda University
Loma Linda, California
Practitioner

4 San Leandro, California

Van T. Himel, DDS

Professor, Chair
Department of Endodontics
Louisiana State University
New Orleans, Louisiana

Graham Rex Holland, BDS, PhD

Professor
Department of Cariology
Restorative Sciences and Endodontics
School of Dentistry
University of Michigan
Ann Arbor, Michigan

Bradford R. Johnson, DDS, MHPE

Associate Professor, Director of Postdoctoral Endodontics
Department of Endodontics
University of Illinois at Chicago
Chicago, Illinois

James D. Johnson, DDS, MS

Chair, Advanced Program Director
Department of Endodontics
School of Dentistry
University of Washington
Seattle, Washington

William T. Johnson, DDS, MS

Richard D. Walton Professor and Chair
Department of Endodontics
College of Dentistry
The University of Iowa
Iowa City, Iowa

Bruce C. Justman, DDS

Clinical Associate Professor
Department of Endodontics
College of Dentistry
The University of Iowa
Iowa City, Iowa

Bekir Karabucak, DMD, MS

Associate Professor, Graduate Program Director
Department of Endodontics
School of Dental Medicine
University of Pennsylvania
Philadelphia, Pennsylvania

James C. Kulild, DDS, MS

Professor Emeritus
Department of Endodontics
University of Missouri
School of Dentistry
Kansas City, Missouri

Harold H. Messer, BDS, MSc, PhD

Professor Emeritus
Restorative Dentistry
School of Dental Medicine
University of Melbourne
Melbourne, Victoria, Australia

W. Craig Noblett, DDS

Assistant Clinical Professor
Division of Endodontics
Department of Preventive and Restorative Dental Sciences
San Francisco School of Dentistry
University of California
San Francisco, California
Private Practice
Berkeley, California

John M. Nusstein, DDS, MS

Associate Professor, Chair
Department of Endodontics
College of Dentistry
The Ohio State University
Columbus, Ohio

Ove A. Peters, DMD, MS, PhD

Professor, Co-Chair
Department of Endodontics
University of the Pacific
Arthur A. Dugoni School of Dentistry
San Francisco, California

Al Reader, DDS, MS

Professor, Program Director
Department of Endodontics
College of Dentistry
The Ohio State University
Columbus, Ohio

Eric M. Rivera, DDS, MS

Associate Professor, Chair, and Graduate Program Director
Department of Endodontics
School of Dentistry
University of North Carolina
Chapel Hill, North Carolina

Paul A. Rosenberg, DDS

Professor, Director of Advanced Education Program
Department of Endodontics
New York University
College of Dentistry
New York, New York

Ilan Rotstein, DDS

Professor, Chair
Department of Endodontics, Oral and Maxillofacial Surgery
and Orthodontics
Ostrow School of Dentistry
University of Southern California
Los Angeles, California

Mohammad A. Sabeti, DDS, MA

Assistant Professor
Department of Endodontics
School of Dentistry
Loma Linda University
Loma Linda, California

Kent A. Sabey, DDS

Program Director
Advanced Education in Endodontics
Department of Endodontics
Louisiana State University
School of Dentistry
New Orleans, Louisiana

Shahrokh Shabahang, DDS, MS, PhD

Associate Professor
Department of Endodontics
School of Dentistry
Loma Linda University
Loma Linda, California

José F. Siqueira, Jr., DDS, MSc, PhD

Professor, Chair
Department of Endodontics and Molecular Microbiology
Laboratory
Faculty of Dentistry
Estácio de Sá University
Rio de Janeiro, Brazil

Anthony J. Smith, BSc, PhD

Professor
Oral Biology
School of Dentistry
University of Birmingham
Birmingham, Great Britain

Mahmoud Torabinejad, DMD, MSD, PhD

Professor and Program Director
Department of Endodontics
School of Dentistry
Loma Linda University
Loma Linda, California

Richard E. Walton, DMD, MS

Professor Emeritus
Department of Endodontics
The University of Iowa
College of Dentistry
Iowa City, Iowa

Shane N. White, BDentSc, MS, MA, PhD

Professor
School of Dentistry
University of California
Los Angeles, California

Lisa R. Wilcox, DDS, MS

Adjunct Associate Professor
Department of Endodontics
College of Dentistry
The University of Iowa
Iowa City, Iowa

Anne E. Williamson, DDS, MS

Associate Professor, Director, Advanced Education in
Endodontics
Department of Endodontics
College of Dentistry
The University of Iowa
Iowa City, Iowa

译者前言

Preface

随着生活水平的提高，人们对于口腔保健的意识增强，对牙髓根尖周疾病患牙的保存意愿也逐渐加强。现代根管治疗技术发展方兴未艾，但目前适合口腔全科医疗工作者和口腔医学生使用的牙髓病外文译著较少，因此寻找一本系统全面又便于理解且有大量图片的牙髓病学经典著作一直是笔者的心愿。

美国Loma Linda大学知名牙髓病学专家Mahmoud Torabinejad，美国Iowa大学Richard E. Walton以及美国Maryland大学Ashraf F. Fouad合著的《牙髓病诊疗原理与实践》一书已更新到了第5版，笔者有幸研读了前几版，随着主编的辛勤更新以及出版业的发展，书中呈现系统翔实的内容，按治疗过程由表及里的编排顺序、图文并茂的讲解、精美细致的印刷，堪称目前牙髓病学外文参考书中的经典。本书除了对牙髓病临床治疗中的基本操作流程做了详尽的介绍以外，还增添了一般常规教材未涉及的牙髓根尖周干细胞、再生性牙髓病学过程、牙髓微生物的新分析、CBCT等在牙髓病学方面的应用、牙髓病学的全

身考虑及单颗牙种植等的内容，这些都是广大口腔全科医生、口腔医学生及口腔专科医生学习的好资料。

基于本书的上述优点，促使我们想尽快地将其翻译为中文，并呈现给广大国内读者，我们相信，这本书的出版必将对临床治疗效果和教学水平的提高产生积极的影响，成为广大牙髓病实践者的良师益友。

本书的译者来自国内各口腔医学院校牙体牙髓科的中青年同行，具有良好的专业基础背景和丰富的临床实践经验，大家在繁忙的日常工作中克服困难、精益求精，终于比交稿期提前完成翻译工作。翻译本着忠实原著的原则，力求做到通俗易懂，但由于理解的差异，译文表述中难免会有不妥之处，恳请广大同道及读者批评指正。

高原 薛晶

2016年12月于四川成都

前言

Preface

口腔医生的主要目标是缓解牙齿疼痛、预防牙齿缺失。虽然一代代口腔医生为此付出了艰苦努力，许多牙齿仍然因发展为龋齿、遭受牙外伤或受其他疾病影响而须接受牙髓治疗。牙髓病学是口腔医学的一个分支学科，主要研究人类牙髓、根尖周组织的形态学、生理学、病理学以及预防、治疗牙髓根尖周组织的病损。其前景广阔，包括诊疗牙髓、根尖周组织来源的疼痛，牙髓治疗，牙髓再生，非外科手术性根管治疗，根管再治疗，牙齿内漂白及牙髓外科。从根本上来说，牙髓病学的主要目标是保存天然牙列。根管治疗经长期检验，是一个能缓解患者疼痛，恢复形态、功能、美观的治疗过程。许多患者希望保留自己的天然牙列，如果有治疗指征，患者需要明白根管治疗在正确操作的情况下是安全的并有较高成功率。

正如其他口腔医学分支专业，牙髓病学的操作强调两个不可分割的要素：艺术性与科学性。艺术性包括根管治疗中进行技术操作的所有过程，科学性涵盖了涉及牙髓生理、病理情况的基础和临床学科，其通过循证的原理和方法指导牙髓治疗的艺术性。循证整合了口腔医生的临床技能和患者治疗需求的最好临床依据。本书的主要宗旨是在需要和合适的情况下加入循证信息。

由于没有足够的牙髓病医生来满足大众的需要，口腔全科医生应帮助牙髓病医生来保留患者的天然牙列。他们的职责是诊断牙髓根尖周疾病并实施简单的根管治疗。实际上，大多数的牙髓治疗是由口腔全科医生进行的。本书专为想进行牙髓治疗的口腔医学生和口腔全科医生撰写，包含大量必要的实用信息，涉及诊断治疗计划及牙髓根尖周疾病

的管理。此外，口腔全科医生必须能确定病例的复杂程度，并确定自己进行必要治疗和转诊上级医生哪一个更好的选择。

虽然近10年来牙髓病学领域有着很大的发展，根管治疗主要目标仍然是去除病变组织、消灭微生物、预防治疗后再污染。新版（第5版）《牙髓病诊疗原理与实践》系统地模仿了临床中的操作流程，它涵盖了正常结构、疾病病因、诊疗计划、局部麻醉、急诊治疗、根管治疗器械、髓腔制备、清洁与成形、根管充填、暂封等方面的内容。此外，还包括意外操作失误的原因、预防、治疗及应用手术和非手术的方法再治疗不充分的根管治疗牙。有一个章节专门阐述了牙髓治疗结果，为治疗过程的评价提供指南。此版书中涵盖了牙髓根尖周干细胞、再生性牙髓病学过程、牙髓微生物的新分析、CBCT等在牙髓病学方面的应用、牙髓病学的全身考虑。还有一个章节研讨了单颗牙种植。

新版（第5版）《牙髓病诊疗原理与实践》还有以下独有的特点：（1）更新了最新的相关参考文献；（2）牙髓病学领域的新科技进步相关信息；（3）单颗牙种植相关信息；（4）新作者的修订。附录配备了描述每颗牙齿髓腔大小、形态、位置的精美彩图。给读者提供了一本简洁明了、现代、易于互动的图书。

本书未涵盖所有牙髓病学艺术与科学的背景信息，同时，也未被设计成一本“菜谱”，或者一本临床前实验技术手册。我们尽力给读者提供根管治疗的核心要点和相关领域的背景知识。本书应该被用作理解牙髓根尖周疾病病因、治疗的基础构件，之后读者能够用更多挑战性的病例扩展自己的牙髓

病学治疗经历。提供高质量的治疗是治疗计划和恰当治疗的指路明灯。

感谢投稿作者给我们和读者分享自己的资料和经验，他们的贡献改善了大量患者的生活质量。感谢Elsevier的全体编辑，是你们的协作和贡献让这个项目成为可能。感谢Mohammad Torabinejad编辑，校对初稿。此外，感谢提供案例并为提高本书质量提出建设性意见的同行和学生。感谢第4版的投稿人：Leif K. Bakland, Marie Therese Flores, Gerald N. Glickman, Gary R. Hartwell, Karl Keiser, Keith V. Krell,

Ronald R. Lemon, Neville J. McDonald, Mary Rafter, Isabela N. Rôças, Asgeir Sigurdsson, James H.S. Simon, Henry O. Trowbridge, Frank J. Vertucci。因为他们的很多材料被加入新版本。

Mahmoud Torabinejad

Richard E. Walton

Ashraf F. Fouad

目录

Contents

- 第1章 牙髓和根尖周组织的生物学特性 / 1
Graham Rex Holland, Mahmoud Torabinejad
- 第2章 保护牙髓和促进牙齿成熟 / 21
Ashraf F. Fouad, Anthony J. Smith
- 第3章 牙髓病微生物学 / 38
José F. Siqueira, Jr., Ashraf F. Fouad
- 第4章 牙髓和根尖周病变 / 49
Mahmoud Torabinejad, Shahrokh Shabahang
- 第5章 诊断、治疗计划及全身情况 / 69
Richard E. Walton, Ashraf F. Fouad
- 第6章 全科牙医和牙髓病专科医生的沟通与联系 / 96
Ashraf F. Fouad, Mahmoud Torabinejad
- 第7章 牙髓—牙周的相互关系 / 107
Mahmoud Torabinejad, Ilan Rotstein
- 第8章 牙纵裂 / 122
Eric M. Rivera, Richard E. Walton
- 第9章 局部麻醉 / 143
Al Reader, John M. Nusstein, Richard E. Walton
- 第10章 牙髓病急症及治疗 / 164
Paul D. Eleazer, Paul A. Rosenberg
- 第11章 牙外伤的处理 / 175
Nestor Cohenca
- 第12章 牙髓影像学 / 200
Richard E. Walton, Ashraf F. Fouad
- 第13章 根管治疗器械 / 220
Van T. Himel, Kent A. Sabey
- 第14章 根管解剖 / 233
Richard E. Walton, Eric J. Herbranson
- 第15章 隔离、开髓及确定工作长度 / 247
William T. Johnson, Anne E. Williamson
- 第16章 清理和成形 / 276
Ove A. Peters, W. Craig Noblett
- 第17章 修复前准备 / 303
Charles J. Goodacre, Harold H. Messer
- 第18章 根管充填 / 319
James C. Kulild, Bekir Karabucak
- 第19章 根管治疗并发症 / 342
Mahmoud Torabinejad, James D. Johnson
- 第20章 根管再治疗 / 359
George Bogen, Robert Handysides
- 第21章 根管外科手术 / 378
Mahmoud Torabinejad, Braldford R. Johnson
- 第22章 根管治疗结果评价 / 400
Mahmoud Torabinejad, Shane N. White
- 第23章 单个种植体 / 415
Mohammad A. Sabeti, Mahmoud Torabinejad
- 第24章 变色牙漂白 / 431
Ilan Rotstein, Richard E. Walton
- 第25章 老年牙髓病学 / 445
Richard E. Walton
- 附录 髓腔解剖和髓腔通路预备 / 458
Lisa R. Wilcox

第1章 牙髓和根尖周组织的生物学特性

The biology of dental pulp and periradicular tissues

章节大纲

牙髓的发育

解剖区及其临床重要性

牙髓的功能

形态

牙髓内细胞

细胞外成分

血管

神经分布

牙髓和牙本质的增龄性变化

修复和再生

根尖周组织

学习目标

阅读本章后，学生应该能够：

1. 描述牙髓发育过程。
2. 描述牙根发育过程。
3. 认识牙髓解剖学特点。
4. 列出牙髓中所有细胞类型并描述它们的功能。
5. 描述牙髓细胞外基质中纤维和非纤维成分。

6. 描述牙髓中的血管和淋巴管。
7. 列出牙髓中的神经组成并描述它们的分布和功能。
8. 讨论牙本质敏感的理论。
9. 描述牙髓中传出神经到中枢神经系统的通路。
10. 描述牙髓组织形态学的增龄性变化。
11. 描述根尖周组织的结构和功能。

牙髓是牙齿中心的疏松结缔组织。其主要功能是形成和支持包围它及牙齿体积的牙本质。牙髓中的成牙本质细胞不仅能形成牙本质，还在牙齿发育早期与牙源性上皮相互作用促进釉质的初始形成。它在一生中保持活性并能对外界刺激产生反应。牙本质和牙髓都有疼痛神经纤维，而自主神经只存在于牙髓中。在需要修复时，有更多的牙本质沉积和新的成牙本质细胞分化。

牙髓具备所有必需的免疫系统的外周成分并能对外源性的抗原（如龋病产生的抗原）产生反应。损伤和外源性抗原会引起炎症和疼痛。健康的牙髓组织对牙齿成功修复过程是重要的。比如，在修复牙科学中，在决定窝洞预备深度时，必须要考虑牙髓腔的大小和形状（如切牙、磨牙）、牙齿发育程度和患者年龄间的关系、患牙既往的修复史。当牙齿受损伤时，其发育程度会影响采取的治疗措施类型。对发育完成的牙齿采用的常规方法并不总适用于仅部分发育的牙齿，而应采用特殊的方法。

因为牙髓病涉及牙髓疾病及其转归的诊断和治疗，牙髓生物学知识是循证治疗方案发展所必需的。本章主要介绍牙髓和牙周膜的生物学知识，这是作为证据基础的基本组成成分。

牙髓的发育

牙髓的早期发育

牙齿起源于胚胎颌弓表面的上皮细胞带，又称为牙板（图1.1A）。上皮细胞带向深层生长最终形成牙齿。根据上皮向深层生长形成的上皮芽的形状来描述牙齿形成的时期。最初上皮芽看起来像花蕾（蕾状期，图1.1B）。在帽状期（图1.1C）上皮芽向内凹陷。随着凹陷的加深进入钟状期（图1.1D）。钟状的上皮芽是成釉器，来源于外胚层并形成釉质。成釉器凹陷部包围的组织，在发育早期称为牙乳头，最终形成牙髓。

在形成之前，细胞进行分化。牙乳头（牙髓）来源于神经嵴（间充质细胞）源性细胞和局部间充

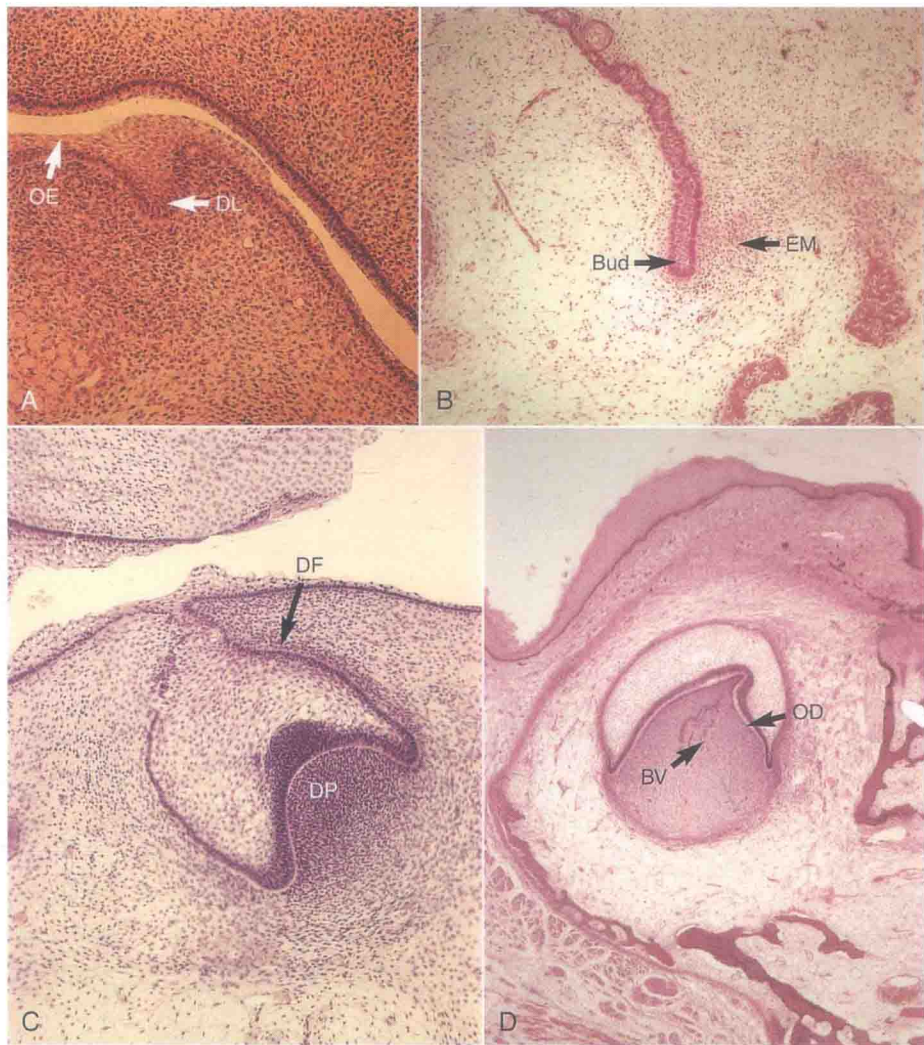


图1.1 A. 牙齿发育最早期。牙板从口腔上皮 (OE) 处内陷。B. 牙齿发育的蕾状期 (Bud stage)。外胚层间充质 (EM) 在牙胚周围开始聚集。C. 牙齿发育的帽状期。在内陷处聚集的外胚层间充质是牙乳头 (DP)。牙囊 (DF) 在牙胚周围开始发育。D. 钟状期早期。牙髓中可见成牙本质细胞 (OD) 和血管 (BV)。(由H.Trowbridge医生授权提供)

质源性细胞混合形成的细胞团。

在钟状期，内釉上皮层细胞分化为成釉细胞 (图1.2A)。接下来牙乳头外层细胞分化为成牙本质细胞 (图1.2B)，在钟状期晚期开始沉积牙本质 (图1.2C)，从此刻起，凹陷内的组织就称为牙髓。在成釉器和牙乳头间的那层组织开始分化并形成牙囊，随后形成牙周附着。成釉器、牙乳头 (牙髓) 和牙囊组成牙胚。

牙胚的组织学分化和形态学分化由基因决定，并由一组生长因子、转录因子和其他信号分子执行。此期发生紊乱将导致无牙、釉质形成缺陷症、牙生成不良及相关缺陷。这些年，关于将这些分子用于牙根形成和牙髓再生的长期目标，大量研究工作仍在进行。

来源于未分化外胚间充质细胞的成牙本质细胞的分化，受成釉器内釉上皮层细胞的调控。成釉细胞合成的生长因子和信号分子穿过上皮板作用于前期成牙本质细胞。位于成牙本质细胞下面的细胞仍然是一种未分化的干细胞并保持分化的潜能。

一旦成牙本质细胞层已经分化，含有信号分子的内釉上皮层基底膜会消失，然后通过紧密连接、桥粒和缝隙连接来连接彼此的成牙本质细胞开始沉积牙本质 (图1.2C) [1]。

一旦牙本质开始形成，内釉上皮层细胞开始响应来自成牙本质细胞的信号并开始分泌釉质。这种交互信号控制是上皮与间充质间相互作用的例子，也是重要的发育过程，在牙胚模型中已有大量研究。未矿化牙本质基质的分泌首先从牙尖开始并

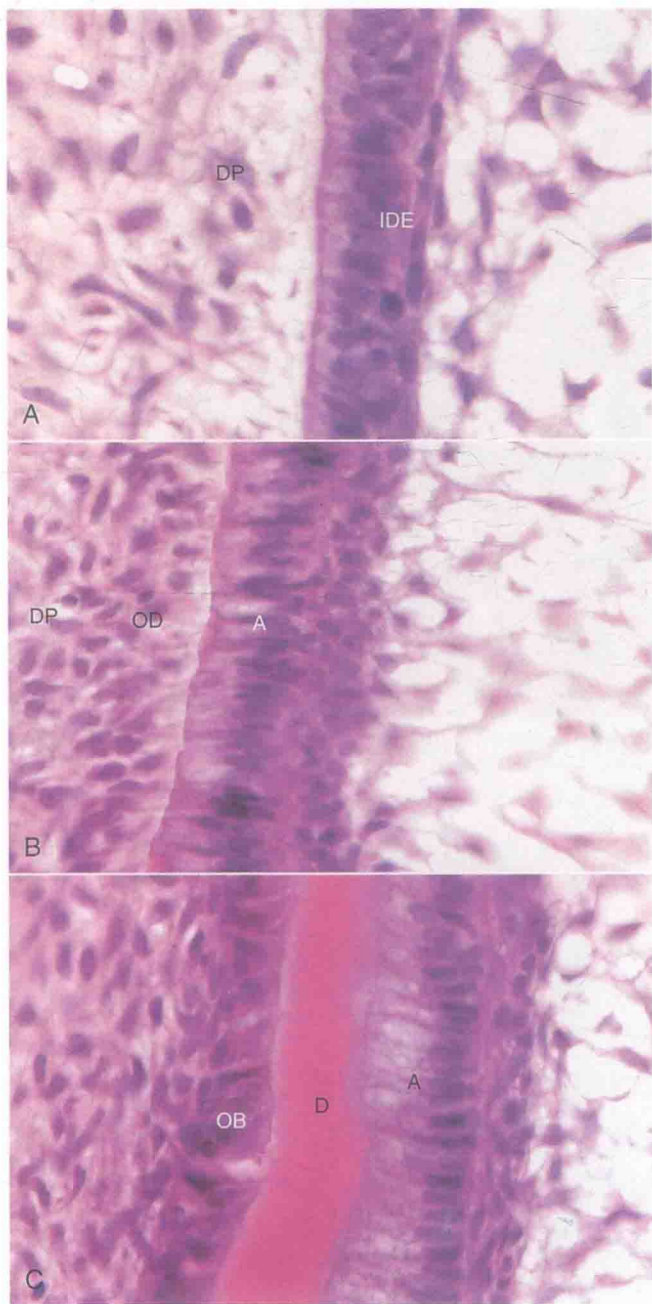


图1.2 A. 在帽状期晚期牙源性上皮内层细胞 (IDE) 已经分化为一层成釉细胞, 但还没有开始沉积釉质。牙乳头 (DP) 的外层细胞还没有分化为成牙本质细胞。B. 比图1.2A时期稍晚一点, 牙乳头外层细胞在现在已能称为牙髓 (DP) 组织的四周开始分化为成牙本质细胞 (OD)。成釉细胞 (A) 已分化完全, 但还没有釉质形成。C. 在钟状期, 成牙本质细胞 (OB) 正在沉积牙本质 (D), 但成釉细胞 (A) 只沉积了一点。(由H.Trowbridge医生授权提供)

以平均每天 $4.5\mu\text{m}$ 的速度向牙颈部扩展^[2]。牙冠形状是内釉上皮层细胞的增殖模式在基因层面早期决定的。最先形成的薄层牙本质叫罩牙本质, 其内胶原纤维的方向和大小及矿化模式与随后形成的髓周

牙本质是不同的。成牙本质细胞的突起至少保留在牙本质小管内层。矿化前, 基质形成模式贯穿整个牙本质分泌过程。靠近成牙本质细胞层的一层 $10\sim 50\mu\text{m}$ 的牙本质基质一直保持未矿化状态, 被称为前期牙本质。

当牙冠开始形成时, 神经血管从未来牙根尖部位向冠方迁移进入牙髓中, 向成牙本质细胞层逐渐分支变细, 后期随着神经向成牙本质细胞层和部分牙本质小管内走行形成神经丛。牙本质的形成以一种基质层状增加和向牙本质小管方向变化的模式贯穿一生。在成人期, 其分泌速率缓慢但从未停止。但当渗透到牙本质内的毒素分子刺激成牙本质细胞时, 其分泌速率将会增加。

牙根形成

在牙齿发育过程中, 内釉上皮层和外釉上皮层的细胞在相连处形成颈环。其为解剖牙冠的终点和牙根形成的起点。牙根形成始于两层上皮细胞融合处细胞的增殖, 现称为上皮根鞘^[3]。上皮根鞘的功能与内釉上皮层在牙冠形成中的功能相似, 它能提供信号让成牙本质细胞分化同时作为牙根发育的模板 (图1.3A)。其内细胞的增殖是由基因决定的; 其增殖模式决定了牙根是宽的还是窄的, 是直的还是弯的, 是长的还是短的, 是单根还是多根。当上皮根鞘在水平和垂直方向向对立面增殖时将形成多个牙根。当上皮根鞘的水平部分相互融合形成上皮隔时多根形成。当发育的牙根结束时, 这种发育模式在形态学上就可以辨别出来 (图1.3B)。

在牙根第一层牙本质形成后, 上皮根鞘下的基底膜发生断裂, 最内层的细胞在新形成的牙本质表面分泌一种透明的物质。在矿化发生后, 透明物质将变成有助于今后在牙本质表面形成牙骨质的Hopewell-Smith透明层。随后上皮根鞘发生断裂。而这种断裂允许周围牙囊 (未来的牙周膜) 中的细胞迁移形成无细胞牙骨质 (图1.4)^[4]。这种牙骨质最终将为牙周膜主纤维生长提供锚定。很多牙齿在牙根发育完成后, 上皮根鞘残余细胞会保留在靠近牙根的牙周膜内, 这些上皮细胞就称为Malassez上皮剩余^[5]。正常情况下它们是没有功能的, 但在炎症情况下会增殖, 在特定环境下可以产生根尖囊肿^[6]。

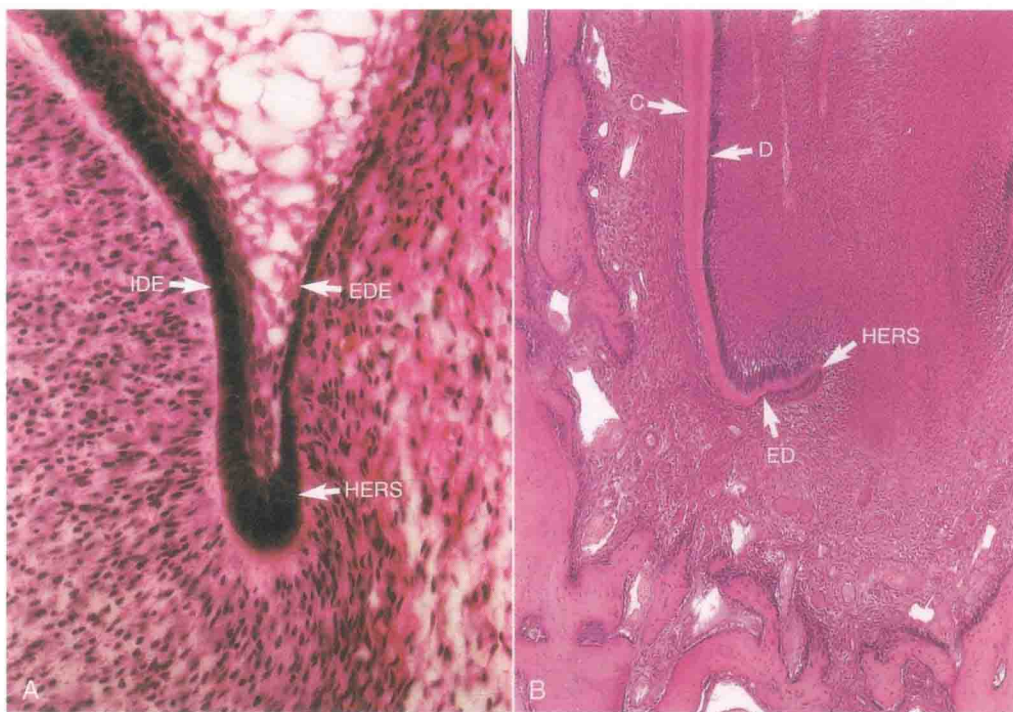


图1.3 A. 源于牙源性上皮内层 (IDE) 和外层细胞 (EDE) 的上皮根鞘 (HERS) 形成。B. 上皮根鞘 (HERS) 延伸。牙本质 (D) 和牙骨质 (C) 开始分泌。HERS改变方向形成上皮隔 (ED)。

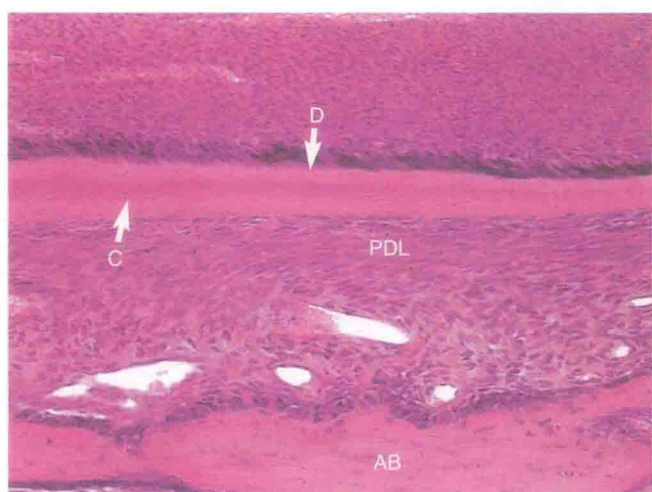


图1.4 发育中的牙本质 (D)、牙骨质 (C)、牙周膜 (PDL) 和牙槽骨 (AB)。

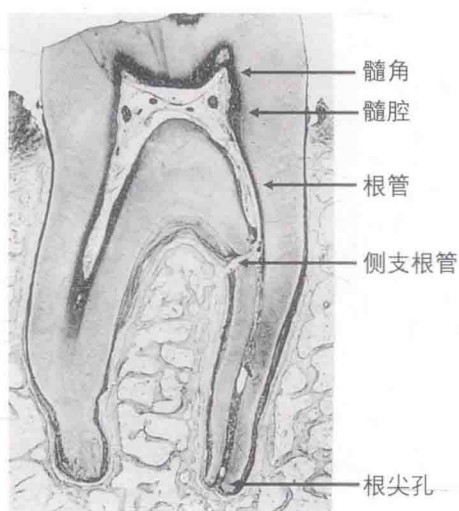


图1.5 根管系统的解剖区域突出显示髓角 (S)、髓室、根管、侧支根管和根尖孔。根管系统中牙髓与牙周膜的交流主要通过根尖孔和侧支根管 (S)。(由Orband医生授权提供)

侧支根管和根尖孔的形成

侧支根管

侧支根管是牙髓和牙周膜间联系的通道 (图 1.5)。在牙本质形成前, 当上皮根鞘的局部区域发生断裂时形成这些侧支根管。其结果是导致牙髓和牙周膜之间直接沟通, 通过一个穿过牙本质和牙骨质的通道, 其中包含了小血管甚至神经。侧支根管

可能是单个或者是多个, 大的或者小的。它们可以在牙根任何部位发生, 但大多数都发生在根尖1/3。在磨牙根分叉区, 它们可能将髓腔和牙周膜联系。侧支根管具有重要的临床意义: 像根尖孔是牙髓和根尖周组织疾病相互传染的通道一样, 它们是牙髓和牙周膜组织疾病相互传染的通道。

根尖孔

上皮根鞘一直延伸到牙根预定的长度。随着上皮根鞘的延伸,会包围更多的牙髓组织,直到只有一个允许牙髓血管和神经通过的根尖孔时。在牙根形成期内,根尖孔通常位于解剖根管的末端。当牙根发育完成时,根尖孔更小,并且距解剖根尖末端一定距离。随着根尖牙骨质的形成,这个距离会增加更多。

在根尖可能有一个或多个根尖孔。多个根尖孔多发生在多根牙。当出现不止一个根尖孔时,大的被称为根尖孔,而小的被称为副根管(所以一起组成根尖开口区)。成熟牙齿的根尖孔直径通常是0.3~0.6mm。最大直径发生在下颌磨牙的远中根管和上颌磨牙的腭根管。然而根尖孔的大小是不能预测的,在临床上也是不能精确测量的。

牙周膜形成

牙周膜源于包绕发育牙齿的外胚间充质组织(即牙囊)。在罩牙本质形成后,类釉蛋白分泌到基底膜和上皮根鞘细胞新形成的胶原间。该区域在罩牙本质内不矿化但在Hopewell-Smith透明层随后矿化。在矿化发生后,上皮根鞘发生断裂。裂隙允许牙囊中的细胞增殖和分化为成牙骨质细胞,在透明层上面沉积牙骨质。在牙囊中心成纤维细胞产生的纤维(Sharpey's纤维)附着在新形成的牙骨质中将变成牙周膜的主纤维。

同时牙囊最外层的细胞分化为成骨细胞,形成的束状骨也将附着在牙周膜纤维内。随后,牙周膜内的成纤维细胞产生更多的胶原使附着的各部分联系在一起形成使牙齿悬浮在牙槽窝内的牙周膜主纤维。携带神经血管的疏松结缔组织存在于主纤维间。未分化的间充质细胞(组织祖细胞)在牙周膜中是富裕的,并且在特定刺激物的刺激下形成成牙骨质细胞、成骨细胞或成纤维细胞。在牙周膜主纤维形成后形成的牙骨质是细胞牙骨质,对牙齿的支持作用较小。在牙髓发育期间中,这些过程是基因预先决定的,是通过信号分子控制的。这个领域还有激烈的研究,因为它能真实地解释牙周病发病的生物学途径。

牙周膜的血液供应来源于周围的骨、牙龈和牙

髓血管分支^[8]。它的血液供应丰富,能支持该区域内高水平的细胞活动。神经分布模式和血管分布相似。神经由小的无髓鞘感觉自主神经和大的有髓鞘感觉神经组成。后者中的一些神经最终变成无髓鞘神经被认为是伤害感受器和机械感受器。

解剖区及其临床重要性

牙齿有两个主要的解剖结构,即牙根和牙冠,它们在牙颈部相连。髓腔也同样被分为冠部和根部。通常,牙齿的形状和大小能反映髓腔的形状和大小。冠部髓腔被分为髓角和髓室(图1.5)。髓角是从髓室伸向牙尖。在年轻恒牙上按常规深度预备窝洞时,会无意暴露髓角。

在牙根发育完成后,由于牙本质的缓慢沉积,髓腔不对称地变小,髓角高度显著降低,整个髓室尺寸减小。在磨牙,冠根向直径比近远中直径减少更多。髓腔尺寸的过多减小在临床上很重要,会增加根管系统的定位、清理和成形的困难(图1.6)。

根管的解剖形态不但在不同类型牙齿间有差异,在同一类型不同牙齿间也不同。虽然每个牙根至少有一个根管,但一些牙根有大小变化的多个根管。明白和掌握根管解剖特点是根管治疗必需的要求。

根尖孔的大小和位置的变化会影响受伤后血流进入牙髓的量。年轻、部分发育的牙齿与成熟的牙齿相比,牙髓有更好的预后(图1.7)。

牙齿萌出后沉积在根尖孔的牙骨质使X线片上的根尖与根尖孔位置不一致,同时也形成一个朝向根尖孔的漏斗状开口,其直径比根尖孔的直径大。根管最窄的部分被认为是根尖狭窄。但临床上根尖狭窄在所有牙齿都是不明显的。根尖狭窄和牙骨质牙本质界(CDJ)同时发生。不同的牙根CDJ的位置不同。一项研究指出根尖狭窄距离根尖开口0.5~0.75mm^[7]。理论上,根尖狭窄点是牙髓的止点和根尖周组织的起点,同时是清除牙髓组织的理想止点。然而临床上,总是不可能定位该点。根管的清理、成形和封闭应该止于根尖狭窄处,局限在根管内,避免对根尖周组织造成不必要的损伤。根管长度的确定和工作长度的建立是根管预备的重要步骤。X线片和电子根尖定位仪对确定根管长度是有用的。

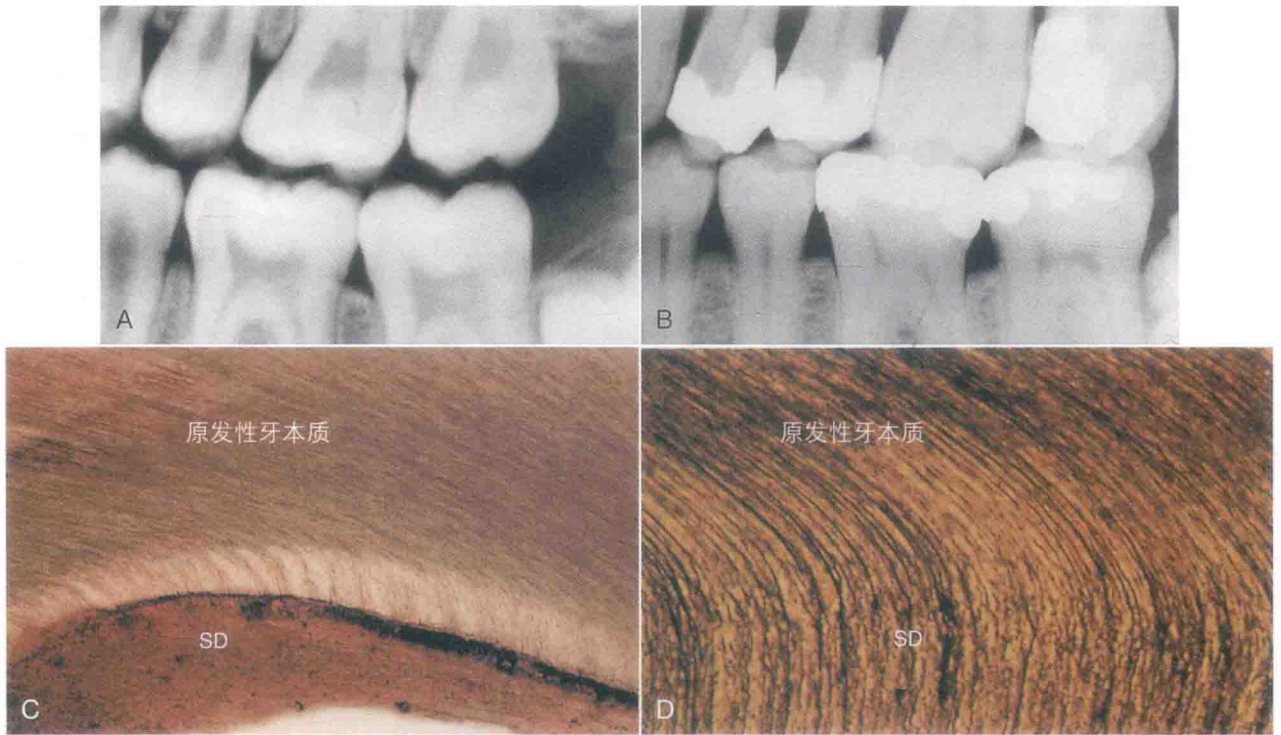


图1.6 A和B. 随着时间推移, X线片上显示髓室形状的变化。后者咬合片是在15年后拍摄的。根管系统的形状已经改变, 这是继发性牙本质的形成和片子所示的深的修复体导致的第三期牙本质形成的结果。C. 继发性牙本质 (SD), 低倍镜下。D. 继发性牙本质 (SD), 高倍镜下。

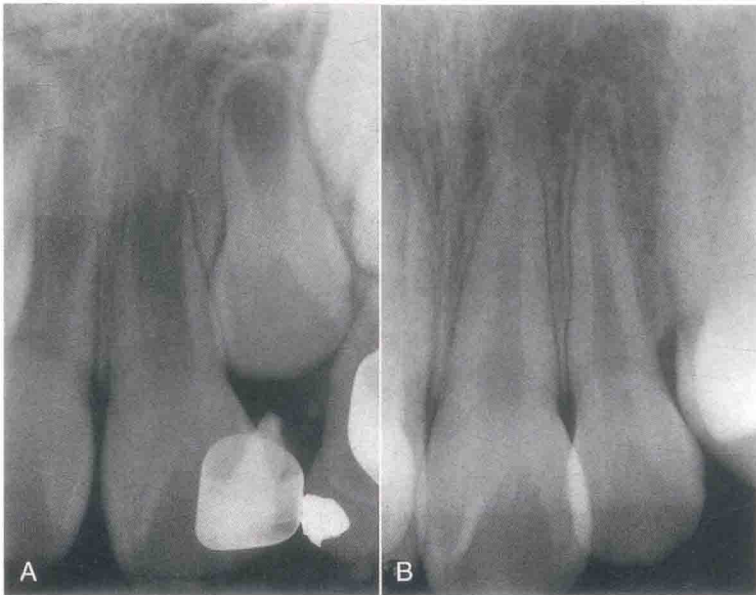


图1.7 牙根和髓腔的解剖学变化。A. 可以看见小的冠根比, 薄层牙本质壁和根尖1/3分散状。B. 4年后, 可以看见更长的牙根、更大的冠根比、更小的髓腔和更厚的牙本质壁, 根尖1/3呈现出聚拢状。

牙髓的功能

牙髓有5种功能, 包括形成和支持功能。

前言

牙髓参与牙本质的形成和发育^[9]。当牙本质形成时釉质开始形成。这两个过程是相互依赖的。因为

6 内釉上皮层诱导成牙本质细胞的分化, 成牙本质细

胞和牙本质诱导釉质的形成。这种上皮-间充质间的相互作用是牙齿形成的重要过程。

形成

成牙本质细胞形成牙本质^[10]。这些高度分化的细胞以3种方式参与牙本质的形成: (1) 通过合成和分泌无机基质; (2) 通过运输无机成分到新形成的基质处; (3) 提供基质矿化的环境。在牙齿早