



# 生物仿真学：利用组织学结构分析方法模拟天然牙生物力学特征

Bio-Emulation: Biomimetically Emulating Nature Utilizing a Histo-Anatomic Approach; Structural Analysis

Panaghiotis Bazos, Pascal Magne.

原载 Eur J Esthet Dent, 2011, 6(1): 8-19. (英文)

艾俊译 邵龙泉审

## 摘要

透彻地理解天然牙组织结构及其光学特征，为临床牙科医师提供了改进修复体光学效果的重要策略和方法。本文第一部分将深入研究天然牙冠的三维构造结构，并利用此理论指导临床及技工室修复体的制作。

本文主要目的是揭示牙冠组织结构之间的相互影响作用，并用来解释下述现象：S形曲线分布（釉质凸起、牙本质凹陷），釉牙本质界（DEJ，可见的界面）和牙釉质牙本质复合体（DEC，功能性界面）的区别，以及保护牙釉质牙本质复合体这一结构的重要性，而这些理论先前均尚未见报道。



## 专家 点评

**邵龙泉教授点评：**近年来，修复材料及技术快速发展，修复体已达到良好的机械及美学性能，并获得了良好的临床效果，但是要达到与天然牙完全相似的生物力学性能及光学特征仍存在一定难度。本文系统阐述了天然牙的三维构造结构及相互之间的作用，重点介绍了釉牙本质界（DEJ）和牙釉质牙本质复合体（DEC）的重要结构及功能，提出了生物仿真学概念，拟从天然牙的组织结构层面探讨模拟天然牙生物学特征的可能性。这种新的理论认知有利于改进现有修复体的分层制作技术、开发新的生物学材料及进一步优化修复体的光学性能，为临床上修复体达到与天然牙高度的一致性提供了理论指导。

## 1 引言

目前，在先进的牙科治疗过程中，要求修复体

与天然牙体之间采用光学介质粘结并达到组织学结构结合，以便修复体在长期的临床使用过程中能承受频繁多向的殆力等生物应力。

借助于一些已被临床研究实验证实并得到广泛应用的牙科粘结材料及粘结技术的改进和发展，临床医师和技工人员已能够使牙科合成材料达到与天

译者单位 南方医科大学口腔医学院  
广州市广州大道北 1838 号 510515

然牙解剖结构相似的生物学性能。

同时随着牙科修复材料的不断改进,其性能日益扩展,目前已包括了光学传导性、色彩动力学等性能,选择种类也不断增多。通过采用色度、半透明度、遮色度不同的材料和分层技术,专业口腔人员模拟天然牙修复,并以其为参考,最大限度地再现患牙的原有特征。

尽管有了上述巨大的发展和改进,重现天然牙完整的解剖外形和光学特性仍是一项艰巨的任务和挑战,临床上甚至技工室都难以达到。因此,深入理解天然牙冠解剖结构〔釉质/釉牙本质界(DEJ)/牙本质〕,三维空间构造及各部分结构之间的相互影响作用,有利于进行复合树脂材料或二硅酸锂基陶瓷材料仿真修复时达到最佳的光学特性。

## 2 方法

10%的盐酸溶液(HCL, Mallinckrodt Baker Inc, Phillipsburg, NJ, USA)浸泡牙齿并超声清洗20min,以使釉质部分脱矿,用来研究确定牙体釉质层形态和釉牙本质界形态之间的关系。

然后,蒸馏水浸泡牙齿1h,中和其表面的酸同时便于操作。将相机(D200, Nikon Inc, Melville, NY, USA)放在传统的三脚架型相机支架(XX-Halter, Novoflex, Memmingen, Germany)上,统一设置各项参数,采用标准光源,同一曝光时间和拍摄视角,对牙齿进行拍照。酸处理前和酸处理后各拍一张,以便前后对照。

### 2.1 釉牙本质界是组织结构的生发中心

检测弄清釉牙本质界的主要作用是理解釉质形成过程中其表面形态发生改变的关键因素。

在牙发生的过程中,釉牙本质界起着宏观调控组织学发展作用(图1),其是生物学成分来源不同的两种矿化组织的交界面(图2):①釉质起着保护层作用;②牙本质是形成牙体组织的主体(图3a)。釉质和牙本质之间的分界线是因为二者折射率不同(图3b)。釉牙本质界的矿化程度低于牙釉质和牙本质,但有机物含量高于二者。镜下观察,呈贝壳状外形,形成一个富含胶原纤维并可发生形变的复杂性功能区域。

内层釉质、釉牙本质界和外层牙本质三者之间的相互作用值得深入研究。其中外层牙本质也即“罩牙本质”,是在牙本质发生过程中最早形成的,厚约150nm,由纤维和基质组成。已有学者对该牙釉质牙本质复合体(DEC)进行了组织学研究,证实其是一个功能性界面,连接两种生物学来源完全不同的组织,以避免二者之间出现裂缝。该界面部分是由于釉质和牙本质在接近二者交界处密度和矿化程度均下降所形成的(图3c)。

### 2.2 微观结构:牙釉质和牙本质

釉质的基本结构是釉柱,富含羟基磷灰石晶体,由基质蛋白相互聚合形成。质硬而脆的釉质在承受给力时仅有微小形变。釉质的这种特性主要是由于其独特的三维构造结构(图4),富含磷灰石的釉

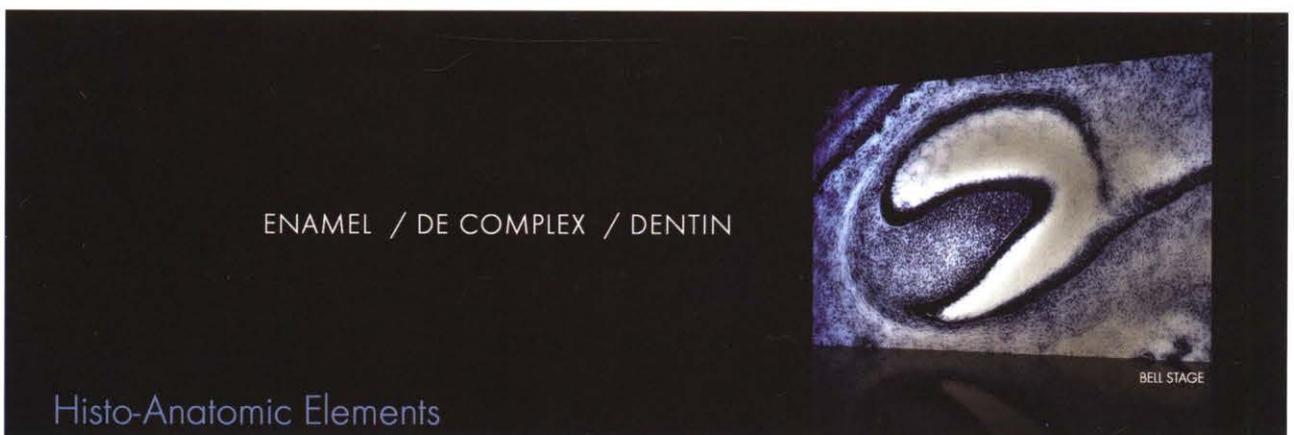


图1 钟状期:此期组织分化过程是大量相似的上皮细胞分化为形态和功能各异的细胞成分(釉质/牙釉质牙本质复合体/牙本质)。形态分化过程是指不同类型的牙乳头分化成为特定的牙齿形态(切牙或磨牙)

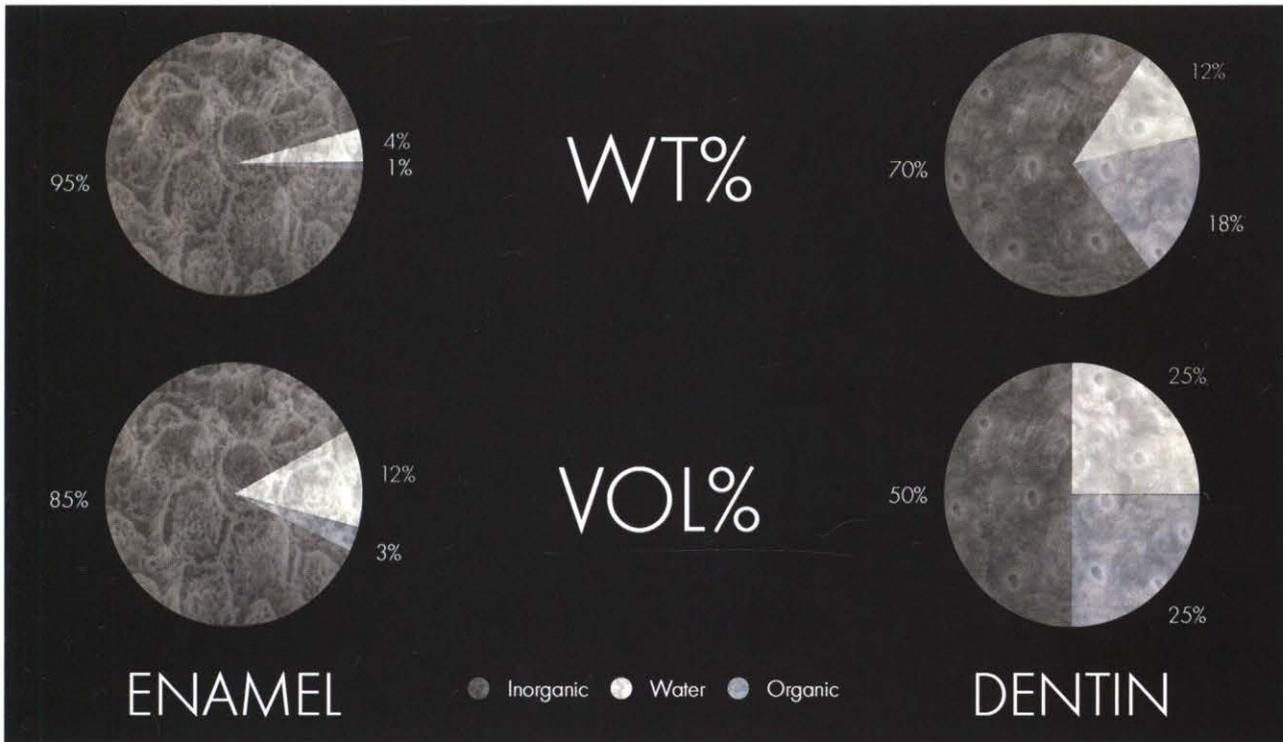


图2 釉质是质硬而脆的高度矿化组织，其包绕覆盖在稍软的牙本质表面；其基本结构—釉柱中排列着富含二氧化碳的磷灰石晶体。相对地，牙本质是由富含胶原的磷灰石组成，其具有一定的弹性，韧性比釉质高。从纳米结构层面看，其与骨组织结构相似。牙本质具有独特的牙本质小管结构，其由微晶磷灰石随机分布成柱状的管周牙本质包绕，嵌于管间牙本质间



图3 镜下观察釉牙本质界，其是一个可见的界面，从生物学功能分析其也是功能性界面。a. 上颌第一前磨牙颊 / 舌侧 0.5mm 厚的组织区域，在黑色背景下浸泡在蒸馏水中的图像；b. 正交偏振光下拍摄的同一个牙齿；c. 突出显示扩展的牙釉质牙本质复合体区域

柱按一定的方向排列成，再相互交织排列更加致密。其抗裂性能的增加主要得益于下列结构的结合，包括由内层釉质中的绞釉形成的桥接、分岔、弯曲等。

冠部牙本质组织学结构主要是由矿化的胶原纤维及细胞间质中的管间牙本质、牙本质小管、管周牙本质所形成的柱形纤维组成。牙本质具有弹性和可塑性，但是不同区域间差异较大。在牙本质核中发现作为生物学裂隙屏蔽机制出现的非裂纹韧带桥。

### 2.3 组织学结构：釉质突起和牙本质凹陷

釉质和牙本质表面组织学结构外形是与其不同的功能作用相适应的。健康、圆凸形的釉质表面形态能为组织提供足够的强度以承受直接的咀嚼压力和殆力。相对的、尖锐的、凹陷形的牙本质表面形态则为釉质层提供稳定的支持作用（图5和图6）。



图4 冠部的牙本质表面形态可以认为是釉牙本质界的三维结构外形。肉眼观察发现釉质表面覆盖层与釉牙本质界二者的总体外形具有高度一致性，明显的区别在于牙冠颊舌侧中1/3的釉质厚度不一，从而形成了一个过渡的S形曲线分布

从生物学发育角度分析，外胚层和中胚层组织的协调发育是牙齿选择性发育的重要保证。牙釉质牙本质复合体已被证实是一个功能复杂的区域，能介导形成相互联系的结构功能网，在功能网中各种不同的结构功能相互协调统一而不是孤立的单独发挥作用。此外，牙釉质牙本质复合体也证实具有功能屏蔽机制，所以在临床修复过程中须时刻注意保护该区域。

牙齿承受殆力时，机械力通过牙齿表面传递，再逐渐消散在向牙齿内部传递的层层结构中。在牙齿使用过程中，一些裂缝会逐渐形成并不断加大。这已经在成年人完整的天然牙中得到了验证，特别是透照法观察显示更明显（图7）。

缺乏认识釉质/牙本质这种组织学结构不同所具有的重要作用，会导致修复体出现细微的光学特性的差别。这也一直困扰着临床修复医师，因为传统



图5 以上颌第一前磨牙为例，从近中观察牙冠可以明显的看到釉质表面轮廓凸向外，正好与尖锐的、凹向内的牙本质外形相反。用蓝色箭头来表示釉质与牙本质表面特征之间微观表达的一致性



图6 以下颌第二磨牙为例，在后牙区牙冠颊面颈1/3与中1/3交界处牙本质呈现明显的凹形，形成S形曲线。此处釉质过表达可能起着加强后牙区在承受骀力时的机械性能作用



图7 图示因牙周疾患而拔除的磨牙。运用透照法观察发现牙冠多处裂纹，但是均止于釉质层内。由于牙周疾病发展缓慢，通过机体自身修复机制，这些裂纹将会由富含蛋白质的口腔涎液等发生再矿化而修复

的牙体组织形态学课程重点关注釉质的表面结构特征，而忽略了其与牙本质结构之间的相互作用，其假定两者具有一致的结构。因此，认识牙釉质与牙本质表面结构之间的联系是很重要的（表1）。临床通常制作石膏代型（Pearl White, GC Fuji Rock EP, Alsip, IL, USA）以便进一步评估牙釉质和牙本质表面的形态和特征（图8）。

表1 通过肉眼观察后牙釉质/牙本质表面的联系

形态学特征	釉质表面	牙本质表面
边缘嵴	圆钝	尖锐
颊尖	圆钝	尖锐
舌尖	圆钝	尖锐
颊面	凸形	凹形
舌面	凸形	凹形
骀面裂沟	有	无

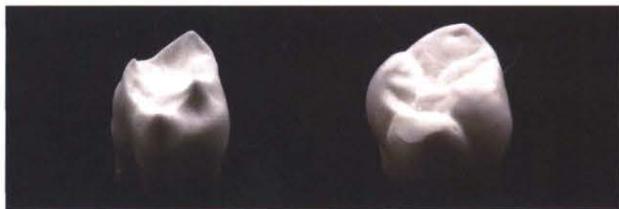
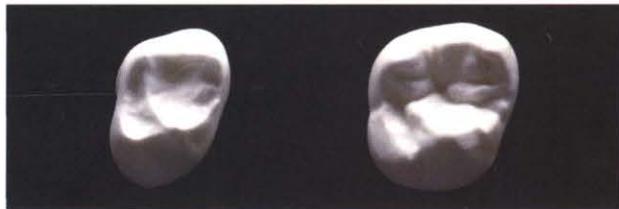


图8 以上颌第一磨牙为例，运用石膏代型来直观地评估和分析釉质与牙本质外形之间的变异。凸起的牙本质尖端与尖锐的嵴相连，与相对的牙釉质相比，承受的咬合面较小。这种理论认知的改变能够改进现有修复体的分层制作技术并能启发创新出新的生物学材料和优化修复体的光学设计

### 3 讨论

本文探讨的目的是帮助牙科临床医师、技工及本学科的学生，应用合适的方法，深入理解牙釉质和牙本质组织结构的空间构造及联系。掌握此理论知识，有利于熟练进行修复操作并获得良好的修复效果。

由于完整天然牙具有无与伦比的精细的微观组织结构，因此只能应用目前可用的生物修复材料努力达到宏观结构的生物仿真效果。

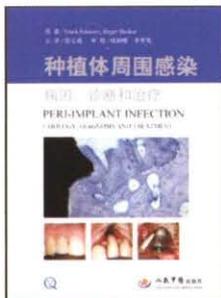
掌握生物仿真学相关知识，使牙科直接或间接粘结修复方法更程序化、更直观，而不是复杂的、主观的操作。但是这项技术较难，需深入理解天然牙的组织结构，而这有赖于牢固掌握牙体结构的三维空间构造等相关理论。

随着牙科粘结修复技术的发展，修复方法侵入性小，不需磨除过多牙体组织以获得足够的抗力和固位。

在进行复合树脂修复或陶瓷修复时，不管是采用传统修复方法（耐火代型或热压铸造），还是先进修复方法（CAD/CAM或3D扫描技术），该理论都可以作为分层技术的基础理论而普遍采用。

#### 4 结论

这篇文章呈现了牙体的组织学结构，包括界面曲线分布（凸起的釉质/牙本质凹陷），釉牙本质界与牙釉质牙本质复合体之间的区别以及保存牙釉质牙本质复合体结构的重要性。



#### 《种植体周围感染 病因、诊断和治疗》

本书以临床证据为依据，全面论述种植体周围炎的病因、诊断和治疗，代表了口腔种植领域中基础和临床研究的最新进展。本书图文并茂地全面讨论牙及种植体周围组织的特点和区别、发病因素和诊断方法、治疗原则和技术、预后和影响因素等重要方面，是口腔医学和牙种植学的经典之作。

主译：宿玉成；定价：320元；出版日期：2011年1月



#### 《牙种植学的引导骨再生：20年的进展》

本书是促进口腔种植发展的一部重要著作——“牙种植学的引导骨再生”的第2版。在所有的口腔种植文献中，本书图文并茂地全面讨论牙引导骨再生的生物学原理、临床原则与技术、自体骨和骨代用材料的移植与屏障膜技术、水平向和垂直向骨增量的原则与技术等重要方面，是口腔医学和牙种植学的经典之作。

主译：宿玉成；定价：300元；出版日期：2011年2月