

扫描电镜分析牙齿釉质 结构方法的讨论

欧阳连 黄万波

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所)

关键词 大熊猫牙齿 釉质结构 分析方法

内 容 提 要

通过扫描电镜对大熊猫牙齿釉质结构的三维观察与比较,结果表明:在同一枚牙齿上,不同部位的釉质切面,釉柱截面的形状、大小以及排列等,有不同的现象。因此在用上述特征描述时,应对所有要比较的样品,须精确地统一在相同的部位。本文以多次实验结果,表明了严格定位取样的重要性。

一、前 言

自扫描电镜问世以来,国外一些学者便开始用来研究哺乳动物牙齿的釉质结构,其中 A. Boyde 的研究较为突出,他的工作使得人们对哺乳动物牙齿釉质的形成和超微结构特征有了更清楚的认识。他将哺乳动物牙齿釉质的釉柱区分为三个主要类型以及它们的变体(赵资奎、李有恒, 1987);此外他又根据釉质微观结构的不同,成功地区分开啮齿类中松鼠型亚目(Sciuromorpha),鼠型亚目(Myomorpha)和豪猪型亚目(Hystriidae)的牙齿化石,这些研究成果,引起了不少古生物学家对哺乳动物牙齿化石釉质微观结构研究的兴趣,使这方面的知识更加充实。当然在另一方面又提出了一些新的问题。我国学者在这个领域开展工作还刚刚起步,但进展很快,从别人的尝试性研究到更多的研究者投入这项工作,目前已初见成效。为了使研究结果便于对比、综合,就要求不同门类的研究者之间在方法上应当规范化,有一个最基本一致的认识。这篇文章便是从此目的出发,对有关研究方法上的一些问题提出我们的一些看法。

我们知道,哺乳动物的牙齿冠面覆盖着一层釉质,其主要成分是羟磷灰石结晶体(统称微晶),由这些有序排列的微晶组成釉柱和柱间质。釉柱在釉质中的排列情况是复杂的,也是有序的,并且随着种类的不同而构成了不同的复杂的三维结构,但对于一个已经确定的物种来说,釉质内的釉柱都有其自己的形状和绞绕生长方式。因此在某一特定的位置上釉柱截面形状和它的排列情况是不变的。从大多数种类的情况看,在靠近牙本质处釉柱的绞绕和波动方向变化剧烈,中间部位波动较小,当靠近牙表层时,釉柱渐次倾斜,以至垂直或接近垂直于牙的表面。由于釉柱在排列上因不同部位而呈现的不同状态,以及釉柱内和柱间质中的微晶排列方向也随着不同部位而变化的这种现象,可导致同一牙

齿在不同部位的釉质切面显示出多种釉柱截面图形。近年来,我们对奇蹄目、啮齿目和食肉目的某些种类的牙齿作了许多微观察,其总的印象是,不同种类之间釉柱的截面形态和排列方式各具其特征,但彼此间又有若干共同的性质,因此我们在实际操作中既要把种间的差异能准确的区分开来,又不能将因不同切面造成的(或制样上的其它因素)差异混为一谈。以下就几个实例作一分析和说明。

二、实验与讨论

1. 大熊猫化石 M_1 正切面的观察与讨论

材料 大熊猫巴氏亚种 (*Ailuropoda melanoleuca baconi* Woodward)

产地 云南保山蒲缥

时代 全新世早期 (Q_1)

样品制作 (1)用 618 胶包埋,切下牙齿中包含颊侧面较平直的部位(图 1, A); (2)取正切面,方法是选择颊侧釉质表面较平的部位由表向里平行表面细磨而成的平面; (3)在釉质表层范围内,选取三个距表面不同深度的磨面(磨面距釉质表面不同深度的测量方法拟将另文讨论)。首先细心磨制 a 面(图 1 B. a), 对其抛光,用 0.074 M 磷酸蚀刻 50—60 秒,干燥后镀 300 Å 左右的金膜,然后用 JSM—T 200 型扫描电镜进行观察,拍摄 100—3500 倍系列照片后,依次再细心磨制出另外两个磨面,即图 1 B. b 和 c,重复上述的做法,即用酸蚀刻和镀膜等依次进行,然后观察拍照。

观察与描述 切面 a 距牙表面约 20 μm , 系磨去该处致密层的正切面,其上所见到

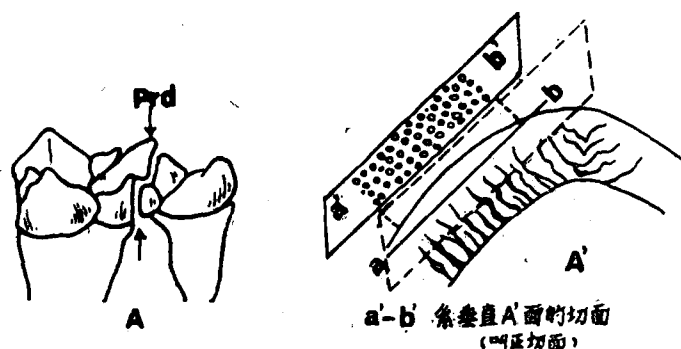


图 1 A 为大熊猫巴氏亚种 M_1 示意图箭头所指的为纵切面方向(通过下原尖的颊、舌切面)

Fig. 1 A The sketch showing the M_1 of *Ailuropoda melanoleuca baconi*, the arrowhead indicating direction of the longitudinal facet, which links the buccal lateral and the lingual lateral through the protocone;

图 1 A' 系 A 图的颊侧处纵切面釉质示意图。a'—b' 系磨去 a—b 的表层部分所显示的平面,它与 A' 面垂直

Fig. 1 A' The sketch showing the longitudinal facet of the enamel in buccal lateral. a'—b' a facet is shown when a—b superficial layer worn away.

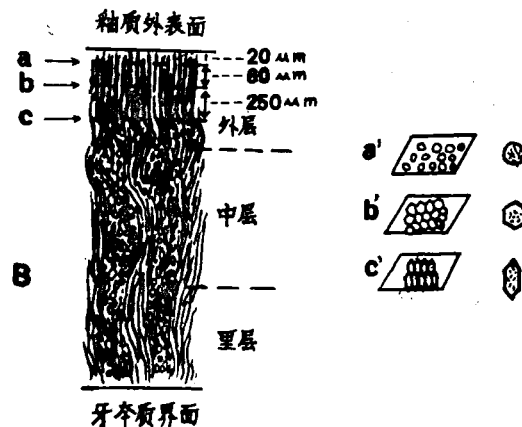


图 1 B 为 A' 纵切面上颊侧处从釉牙本质界到釉质外表面连续观察的釉质示意图。a、b、c 即为三个磨去距表层不同深度的正切面; a'、b'、c' 为相对应正切面上的釉柱截面图形
Fig. 1B The sketch showing longitudinal facet A' from the enamel-dentine junction to the enamel surface.

a, b, c indicating three sections of prism different distance away from surface; a', b', c' indicating sections shape of prisms correspondence a, b, c

的釉柱截面均被较宽的柱间质环绕, 显示圆形或不规则的椭圆形。取 30—40 个釉柱测量, 其短径平均值约 $4.1 \mu\text{m}$; 长径平均值约 $4.4 \mu\text{m}$ (图版 1. 图 3 a)。

切面 b 是距表面约 60—150 μm 之间的正切面, 由于釉柱在接近表面时其长轴方向多与表面成直角, 因此对于一枚牙齿而言的正磨面, 即相对于此处表层釉柱为横切面。故此处所见的釉柱截面图形, 才真正近似它的横切面图形。它们也被柱间质环绕, 只是相对更表层的 a 切面上的柱间质要窄一些, 显示出较为均匀的正六边形。以 30—40 个釉柱测量, 其短径平均值约 $4.4 \mu\text{m}$; 长径平均值约 $4.9 \mu\text{m}$ (图版 1、图 3 b)。

切面 c 系距表面约 250 μm 的正切面, 从插图 1 中 c 位可见, 该处釉柱渐次倾斜, 尽管该磨面仍平行于釉质表面, 然而釉柱均被该磨面斜切, 釉柱截面虽被柱间质环绕, 它的形态则呈现出拉长的六角形, 有时还出现向同一方向歪斜的长六角形状态。同样取 30—40 个釉柱测量, 其长径平均值约 $6.8 \mu\text{m}$; 短径平均值约 $4.5 \mu\text{m}$ 。如图版 I 图 3 c 所示。如果再往釉质深部平行表面磨片观察, 釉柱截面形态便出现多样图形。同时出现施氏明暗带。

为了便于对比, 现将以上三个切面的观察数据列表如下(表 1)。

讨论 根据以上对同一标本的三个切面的制作与观察, 其釉柱截面形状和大小在三者之间已表现出明显的差异。如前所述, 这三个切面的间距很短, 但相互平行, 对整个纵切剖面(从牙本质与釉质的交界面到牙齿冠面)来说, 它们基本上是位于表层的范围之内。因此, 这些实验给了我们许多启示: (1) 按 A. Boyde 对釉柱截面图形的分类方法, 上述的 a、b、c 三个切面上的釉柱形态都可归入为 I 型。假如我们只是为了比较形态、那么表层不同程度上的切面都可以进行比较; (2) 如果是比较不同种类釉柱横切面直径的大小,

表 1 不同正切面上的釉柱截面的大小和形状

Table 1 Variety of sections in shape of the prisms

平行颊侧面的磨面(正切面) tangential facet	长径平均值 (μm)	短径平均值 (μm)	釉柱截面形状 shape of section
	average	diameter (μm)	
	in length	in width	
距表面约 $20\ \mu\text{m}$ c. $20\ \mu\text{m}$ away from surface	4.1	4.4	圆或椭圆 circle/ellipse
距表面约 $60\sim 150\ \mu\text{m}$ c. $60\sim 150\ \mu\text{m}$ away from surface	4.4	4.9	近正六边形 hexagon
距表面约 $250\ \mu\text{m}$ c. $250\ \mu\text{m}$ away from surface	4.5	6.8	长六边形 long hexagon

选择表层的 b 切面是最佳位置。原因是釉柱在表层的 $40\sim 200\ \mu\text{m}$ 区间内 (就大熊猫而言), 恰好处在垂直或近似垂直于牙齿的外表层。不言而喻, 在 b 区这段距离内磨制的切面, 容易做到使釉柱的长轴垂直在磨制的切面上, 故出现的釉柱截面形态主要为近似正六边形, 且大小均匀。我们反复做了若干个标本, 其结果都比较一致; (3) 在选择牙齿表层切面的样品测量釉柱直径的大小时, 要严格地估计切面距表面的深度是十分重要的。尤其是借用釉柱六角形长径的变化作为一个大小特征来描述, 其制样的位置精度应有更高要求, 如果笼统用某一位置, 从上面的情况看来, 就不容易得出正确结果; (4) 根据 b、c 切面上六角形态的长径和短径数据的测量, 长径变化很大, 因为我们知道它们来自同一个牙齿的同一部位, 只是 c 切面比 b 切面距表层稍深一点, 所以我们可以认为这个六角形中的长径变化主要是受切面的影响, 也就是釉柱被该磨面斜切的结果。又如在纵切面上的图版 I 图 1 中所示, 从釉牙本质界处至釉质表层的连续拍照图中, 也可看到不同长径的六角形变化。而六角形态中的短径变化不很大, 基本上能反映釉柱生长在某位置时的直径大小, 所以我们认为, 测量釉柱直径的大小, 只要测量短径这一个数据比较准确。

2. 大熊猫化石 M_1 纵切面的观察与讨论

材料 大熊猫巴氏亚种 (*Ailuropoda melanoleuca baconi*)

产地 除云南保山蒲缥的牙齿外, 增加了广西、广东、江西和现生种近 10 个标本。

时代 更新世中、晚期和全新世。

样品制作 取通过下原尖的颊、舌连接的纵切面。制样方法同上。在釉质的纵切面上分成 a、b、c 三部分进行观察。a 区为颊侧釉质部分; b 区为原尖釉质部分; c 区为齿冠咬合面的凹陷部分 (图 2)。将釉质的纵切面分 a、b、c 三个区域观察的目的是: (1) 了解釉柱的大小从釉牙本质界至釉质表面在三个部位的变化规律; (2) 了解釉柱的截面形状和施氏明暗带在各区域的情况。现分别将观察结果描述如下。

观察与描述 a 区观察结果 (一) 釉柱横切面的直径大小从里往外的变化, 总的看来差别不大, 但有二种情况, (1) 大多数在 a 区的中间部位, 釉柱横切面的直径大小变化符合

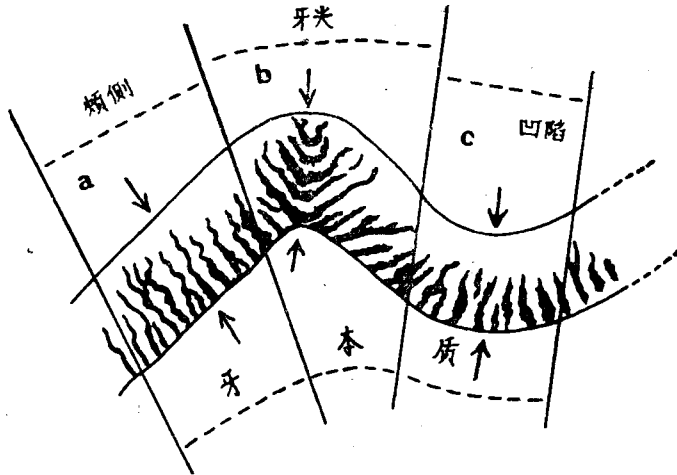


图2 为大熊猫巴氏亚种 M_1 颊—舌切向并过原尖的釉质纵切面部分示意图。

Fig. 2 The sketch showing the longitudinal facet of enamel layer of *Ailuropoda melanoleuca baconi*

里外两端较细中间较粗的规律。如云南产地的大熊猫巴氏亚种 M_1 , 图版 I 图 1 所示; (2) 有些标本, 在 a 区观察釉柱横切面直径大小的变化很小, 只是里层稍小一点, 中层和外层几乎没有多大变化。如广西产地的大熊猫巴氏亚种 M_1 , 图版 I 图 2 所示。(二) a 区的釉柱截面形状, 大多数以柱间质环绕的内六角形态为主, 即 I 型。如图版 I 图 1 所示。而广东产地的大熊猫巴氏亚种 M_1 , 在 a 区的中层和里层可见到蝌蚪形, 即 III 型。如图版 I 图 5 所示。(三) a 区的施氏明暗带均很清楚, 而且很有规律。带的宽度和相对釉牙本质界的斜度以及在釉质层厚度中延伸的长度等均可测量。它们基本以平均七根釉柱的宽度组合, 这个规律在相对应的舌侧釉质平直部位也可看到。如图版 II 图 1 所示。

b 区观察结果 (一) 釉柱横切面的直径大小, 在近釉牙本质处, 釉柱相对细小密集, 由里往外增粗, 达釉质表面时最粗。因此它的变化规律是: 里层小于中层、中层小于外层。同时还有这种现象, 即牙尖曲率越大, 釉质层越厚、釉柱延伸至表面时, 相应变得更粗。如图版 II 图 2、3 所示。(二) 釉柱的截面图形, 在牙尖处, 主要呈现有柱间质环绕的圆形和六角形, 即 I 型。在中层和里层的釉柱几乎均被观察面斜切、所以多呈现长柱状。有的也能见到似蝌蚪形。即 III 型。此处一般看不到釉质表面的无结构层, 这种现象, 可能与牙齿的磨损有关。(三) b 区的施氏明暗带不像 a 区那样清楚, 一般呈 V 字形交替出现, 其宽度和斜度变化大, 与 a 区不同。

c 区观察结果 (一) 釉柱横切面的直径大小, 从釉牙本质界处起, 在从里往外的延伸过程中是逐渐缩小, 因此它的变化是: 里层大于中层、中层大于外层。如图版 II 图 4、5 所示。(二) 釉柱的截面形状, 表层主要为具有柱间质环绕的长六角形或椭圆形。内部呈多样性图形。(三) 施氏明暗带的形状呈人字形, 并由三至四条明暗带于釉质中心处合为一条后延伸至釉质层的三分之二处消失。它不同于 a 区和 b 区。

a、b、c 三区各中心部位的釉柱横切面直径大小的测量数据见表 2。

表 2 在同一个纵切面上不同部位的釉柱横切面直径大小的比较

Table 2 Comparison of prisms in size of *Ailuropoda*

纵切面 longt. facet	釉柱横切面直径平均值 (μm) size of prisms (μm)	<i>Ailuropoda</i> 现生种 living species	<i>a Ailuropoda melanoleuca baconi</i>		
			广东标本 Guangdong	广西标本 Guangxi	云南标本 Yunnan
颊侧部位。a 区 buccal face	外层釉柱 superficial	4.2	4.7	4.3	4.6
	中层釉柱 intermediate	4.5	4.8	4.4	5.4
	近釉牙本质界处釉柱 near dentine	4.1	4.4	4.0	4.9
牙尖部位。b 区 cone area	外层釉柱 superficial	6.2	6.5	6.1	
	中层釉柱 intermediate	5.2	5.2	5.1	
	近釉牙本质界处釉柱 near dentine	2.7	2.8	3.0	
冠面凹陷处。c 区 concave area	外层釉柱 superficial	4.0		3.2	
	中层釉柱 intermediate	5.1		4.1	
	近釉牙本质界处釉柱 near dentine	5.6		4.6	

讨论 通过同一纵切面内釉质的三个不同部位的观察和连续拍照, 对各部位釉柱横切面直径大小的测量以及对它们的形状和施氏明暗带的比较, (1) 釉柱直径的大小, 在釉质层的各个部位不一样, 它随釉质外表面的曲率变化而变化。一般来说, 在釉质表面平直部位由里至外变化很小, 在牙尖和冠面凹陷处, 由里至外变化则大。(2) 在同一个牙齿的釉质纵切面图上, 如 a、b、c 三个区域的釉柱截面图形显示不一, 但在颊侧的平直部位, 釉柱截面图形的变化比较单一, 比如 a 区多是以六角形状为主。(3) 施氏明暗带的宽度和斜度在 a、b、c 三个区域显示不一, 但在颊侧平直部位, 包括舌侧的平直部位, 施氏明暗带很清楚, 因此在 a 区, 比较容易找到它们的组合规律。如上所述, 在纵切面上测量釉柱横切面直径大小、施氏明暗带的组合特征、釉柱截面形态的变化等, 最好都选择在釉质的表面平直部位, 即类似 a 区的颊侧部位为好。这样才能避免发生因不同部位比较造成的差异。

三、结 语

通过不同部位的正切面和纵切面的观察结果, 进一步证实:

- (1) 釉柱截面的内六角形状的变化不适合作为一个种间的变异特征描述。
- (2) 釉柱截面的内六角形状中的短径可用作描述釉柱横切面直径大小的近似值。
- (3) 因为釉质结构是三维性质, 在一个平面上又不可能看到它们的立体结构, 所以在

分析中就要强调它的立体特性,因此对所有要作比较的样品,严格统一取样的位置,是强调立体分析的重要方面。至于选取哪一个位置作切面观察为好,我们的做法是首先要对研究的牙齿,如大熊猫牙齿釉质结构作全面观察和了解,根据这个基础,我们才能对熊猫类牙齿 (M_1),选定在 a 区,即颊侧的平直部位进行釉质结构特征的比较,这样作出的结果较为准确。

总之,我们从大熊猫牙齿化石所作出的结果,与 D. G. Gantt 和 F. D. Cring (1981) 对其他哺乳动物牙齿作出的有关结果基本上是一致的。

本文的插图由戴加生同志清绘,作者在此致谢。

(1990 年 7 月 12 日收稿)

参 考 文 献

- 赵资奎,李有恒,1987: 更新世大熊猫牙齿釉质的超微结构。古脊椎动物学报。25(4),297—305。
- Gantt, D. G., 1983: The enamel of Neogene hominoids-Structural and phyletic implications. In Ciochon, R. L. L. and R. S. Corrucini, eds, New Interpretations of Ape and Human Ancestry, 249—298, Plenum press, New York and London.
- Gantt, D. G., and Cring, F. D. 1981: ENAMEL ULTRASTRUCTURE And ITS IMPLICATION TO PALEONTOLOGY. Scanning electron microscopy/1981/1 (p. 595—602). Sem Inc., Amf O'hare (Chicago). II 60666, U. S. A.
- Shelleis, R. P. and Poole, D. F. G. The Arrangement of Prisms in the Enamel of the Anterior Teeth of the Aye-Aye S—E—M /1979/11 (P. 497—506). U. S. A.

DISCUSSIONS ABOUT THE METHOD OF ANALYSIS OF ENAMEL MICROSTRUCTURE WITH SEM

Ouyang Lian Huang Wanpo

(Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology Academia Sinica)

Key words *Ailuropoda*; Analysing method of enamel microstructure

Abstract

Here are presented observations with the SEM on various facets of enamel from mammalian teeth. First, three tangential facets with different distances away from the surface of the buccal lateral enamel of the Giant Panda are made as in figure. It shows that the size and shape of the prisms in different facets are varied. The variance of longer diameter are the greatest. Therefore, the length or variance of the longer diameter can not be regarded as characteristic of certain species. Secondly, a longitudinal facet linking the buccal lateral and the lingual lateral through the protocone is also made in the same tooth. Three regions in this facet were observed with SEM from the enamel-dentine junction to the enamel surface respectively. These observations indicate that the variant tendency of the prisms in shape and size are not identical, increasing from near dentine to the surface at cone but decreasing at the concave area. Obviously the variant tendency of the prisms in size can not be regarded as a species characteristic either.

On the basis of observation and comparison above, we think that the accurate location is necessary, if we regard shape and size of the prisms as characters for certain species.

图 版 说 明

图 版 I

1. 大熊猫巴氏亚种(云南标本) M_1 颊舌切向并通过原尖的纵切面, 在颊侧处从釉牙本质界至釉质表面的釉质图。×350

A longitudinal section cut in a buccal lingual plane cross the protocone of M_1 of *Ailuropoda melanoleuca baconi* collected from Yunnan, showing the enamel layer from the enamel-dentine junction to the enamel surface in buccal lateral area

2. 大熊猫巴氏亚种(广西标本) M_1 同图 1 观察部位的釉质图。×1000

Parts of the enamel pattern in the same area as figure 1 of *Ailuropoda melanoleuca baconi* collected from Guangxi

3. a, b, c 分别距釉质表面约 20, 60—150 和 250 μm 不同深度正切面上的釉质图。a, ×1100; b, c, ×1000
a, b, c showing three tangential sections approximately 20, 60—150 and 250 μm from the surface of the enamel respectively. The material is same as in figure 1
4. 大熊猫(现生种) M_1 同图 1 切面的釉质图。×22

Part of the section at the same area as in figure 1 of *Ailuropoda melanoleuca* (living)

5. 大熊猫巴氏亚种(广东标本) M_1 同图 1 切面, 在颊侧近釉牙本质界处的釉质图。×1000

The enamel picture near dentine at the same rear as in figure 1 of *Ailuropoda melanoleuca baconi* collected from Guangdong

图 版 II

1. 为图版 I 图 4 中 A 处的施氏明暗带。 $\times 450$
Hunter-Schreger bands from the point A of the Plate 1,4
2. 为图版 I 图 4 中 B 处的釉质放大图。 $\times 510$
Enlargement of the enamel from the point B of the Plate 1,4
3. 为图版 I 图 4 中 C 处的釉质放大图。 $\times 510$
Enlargement of the enamel from the point C of the Plate 1,4
4. 为图版 I 图 4 中 D 处的釉质放大图。 $\times 500$
Enlargement of the enamel from the point D of the Plate 1,4
5. 为图版 I 图 4 中 E 处的釉质放大图。 $\times 500$
Enlargement of the enamel from the point E of the Plate 1,4

