

许家窑人幼年个体的釉质发育缺陷

邢松^{1,2}

1. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 中国科学院脊椎动物进化系统学重点实验室, 北京 100044;
2. 中国科学院生物演化与环境卓越创新中心, 北京 100044

摘要: 上世纪 70 年代在许家窑 - 侯家窑地点发现的人类化石对了解东亚中晚更新世过渡时期古人类的形态演化起到了重要作用。除形态特征外, 针对许家窑人病理表现也开展过相关研究, 其中许家窑人幼年个体前部牙齿上出现的黄色小坑被认为是患有氟斑牙病的证据, 且可能代表世界范围内该牙病的最早实例。然而, 经电子显微镜和显微断层扫描显示, 这些黄色小坑或凹陷是釉质发育不良表现, 而不是代表个体患有氟斑牙病后牙齿受咀嚼压力而产生的物理破损。同步辐射扫描显示, 许家窑幼年个体前部牙齿釉质密度均匀, 没有出现浅层釉质矿化减小的现象, 不支持该个体因釉质矿化过程受影响而患有典型氟斑牙的结论。尽管如此, 后部牙齿上大量坑状的釉质缺陷和坑状缺陷底部的加重生长线特征不排除是个体氟摄入过量而影响釉质形成的分泌期而导致的。除表面坑状釉质缺陷外, 许家窑幼年个体恒齿不同部位的釉质内部出现缺失(空间结构一般为圆球状)。缺失主要集中在浅层区域, 沿齿尖 - 齿颈方向的密集程度变化与釉质发育不良位置具有一定相关性。釉质内部缺失有时互连并与釉质表面垂直。以上特征显示釉质内部缺失是釉质形成过程受影响所致, 且影响因素和发生机理可能与釉质发育不良的类似。许家窑幼年个体不同牙齿在外部釉质缺陷和内部釉质缺失密集程度上的差别可能反映的是个体在发育过程中所需应对的外界扰动因素程度不同。未来研究可对包含许家窑人化石的堆积物中以及许家窑人牙齿中的氟含量进行测定, 以进一步研究许家窑人个体的生活环境中是否有过量的氟以及许家窑人是否摄入了过量氟元素, 从而对许家窑人的牙齿发育缺陷机理有一个进一步的了解。

关键词: 许家窑人; 氟斑牙; 同步辐射; 釉质缺失

1 引言

许家窑人类化石于 1976、1977、1979 年在河北阳原许家窑 - 侯家窑地点(编号 74093)发现, 共包括头骨、下颌骨、单颗牙齿 20 件^[1-3]。与人类化石同时出土的还包括数万件石制品及大量伴生哺乳动物化石^[1-2]。关于许家窑人的生活年代, 不同研究使用铀系、光释光、电子自旋共振(ESR)、铝铍埋藏学(²⁶Al/¹⁰Be)等多种方法测定, 得出一个较大变异范围(6.0±0.8-37.6±2.5 万年)^[4-9]。其中 10.4-12.5 万年和 16.1-22.4 万年两个年代范

收稿日期: 2019-5-28; 定稿日期: 2019-6-18

作者简介: 邢松, 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所副研究员, Email: xingsong@ivpp.ac.cn

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项(B类)(XDB26000000); 国家自然科学基金(批准号: 41630102, 41672020)

Citation: Xing S. Enamel defects of the Xujiayao juvenile[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2019, 38(4): 499-512

围较为可信^[4, 6, 9]。针对许家窑人化石形态及演化地位, 发现之初的报道认为其代表从周口店直立人向尼安德特人转变的过渡类型或者是尼安德特人的某一种类型^[1-2]。近些年来, 显微断层扫描以及其他量化研究方法的应用、可对比标本的增加、对性状演化趋势的重新认识等促使了对许家窑人化石的深入研究^[10-12]。结果发现, 许家窑人形态特征表现为古老和进步的镶嵌状态, 代表过渡型的古老型人类^[10-12]。具体来讲, 许家窑人既保留直立人的原始特征(厚重的头骨骨壁、较宽的下颌支、下颌切迹轮廓不对称、粗壮的前部牙齿), 又表现出智人的进步特征(颞鳞上缘圆隆、下颌切迹脊外置、下颌孔开放、前臼齿齿冠轮廓对称), 还存在尼安德特人中高频出现的性状(下颌支内侧上部较大的翼状肌凸起、半规管相对位置和尺寸 - 前支相对小, 侧支相对大, 后支相对侧支位置靠下)^[1-2, 10-12]。许家窑人生活时代是现代人类起源的关键时期, 它的发现和研究对了解东亚中晚更新世过渡时期古人类的形态演化具有重要意义。

除形态特征外, 针对许家窑人病理表现也开展过相关研究, 如扩大顶孔、顶骨和枕骨上的外板和板障的创伤、釉质发育不良等^[13-15], 这些病理研究对了解当时古人类的健康状况和生活史发挥了一定作用。除此之外, 许家窑人幼年个体(编号1的许家窑人上颌骨及附带牙齿)被认为患有氟斑牙病, 且可能代表世界范围内该牙病的最早病例^[1, 16]。许家窑人幼年个体被鉴定患有氟斑牙的主要原因是其门齿和犬齿上各有一处黄色小坑或釉质凹陷^[1, 16]。然而, 最新研究表明, 这些黄色釉质凹陷并不是典型氟斑牙病症^[15], 而是釉质发育不良^[17]。典型氟斑牙的发生是氟影响了釉质成熟期的钙化过程, 造成浅层釉质缺失而导致的, 而釉质表面在牙齿未萌出前一般较光滑^[18-23]。浅层釉质的缺失造成釉质外表呈现乳白色块状不透明区域, 当萌出后氟斑牙承受咀嚼压力而破碎, 色素渗入破碎区域后造成牙齿泛黄失^[20, 24]。根据轻重程度, 氟斑牙一般分为轻度、中度、重度(见参考文献[25])。轻度又称白垩型, 釉质出现不同程度的不透明乳白色斑块, 根据其分布范围大小又可以分3级, 最高级别下釉质受影响的范围小于50%的齿冠表面积。中度为着色型, 釉质缺陷遍布整个齿冠表面、咬合面磨损较重、釉质表面着色。重度氟斑牙釉质缺损, 并伴随广泛着色^[25]。就许家窑幼年个体而言, 其两颗前部牙齿釉质表面虽显黄色, 但无明显乳白色不透明区域出现。此外, 许家窑两颗前部牙齿均未萌出, 所以不存在因咀嚼压力而导致釉质破碎进而被染色的情况。电子显微镜扫描和显微镜观察均显示许家窑幼年个体前部牙齿的两处釉质凹陷边缘光滑, 无破碎情况^[15]。

尽管许家窑幼年个体两颗前部牙齿上的黄色小坑不能作为患典型氟斑牙病的证据, 但该个体是否患有氟斑牙病目前还不能确定。除上第一白齿外, 许家窑幼年个体的其余牙齿都未萌出, 所以在表面难以观察到氟斑牙的病理表现(图1)。但如定义所述, 典型氟斑牙病的一项重要鉴定指标是“内部浅层釉质有大量因釉质成熟过程受阻而出现的低矿化区”^[20, 24]。那么许家窑幼年个体是否有此类釉质缺陷呢? 为了解决这一问题, 本文将使用高精度(0.7 μm)同步辐射扫描许家窑幼年个体恒齿, 以此来观察其釉质内部结构, 判断是否具有釉质低矿化区存在, 以及是否有其他釉质缺陷, 以对许家窑人的健康状况和生活史有进一步的了解。除此之外, 同步辐射扫描后(分辨率为6.3 μm)所复原得到的釉质表面结构也更加清晰, 本文也将再次对许家窑幼年个体两颗前部牙齿的所谓“氟斑牙病灶”进行细微结构展示。

2 材料和方法

2.1 材料

本文主要研究对象是许家窑材料中编为 1 号的幼年个体左侧上颌骨所包含的 6 颗恒齿(图 1), 分别为上中门齿(I^1), 上犬齿(C'), 上第三前臼齿(P^3), 上第四前臼齿(P^4), 上第一臼齿(M^1)和上第二臼齿(M^2)。其中 M^1 刚萌出不久, 原尖和近中边缘脊上有轻微咬合面磨痕; I^1 已经脱离齿槽, 但原位放置后显示其接近但未萌出; C' 、 P^3 、 P^4 、 M^2 均未萌出。

2.2 方法

2.2.1 显微断层扫描及虚拟复原

使用 225kV- μ CT 显微断层扫描仪器(中国科学院高能物理所研发)扫描许家窑幼年个体上颌骨及牙齿。扫描参数设置如下: 电压 140kV, 电流 120 μ A, 每 0.5 度一步, 360 度

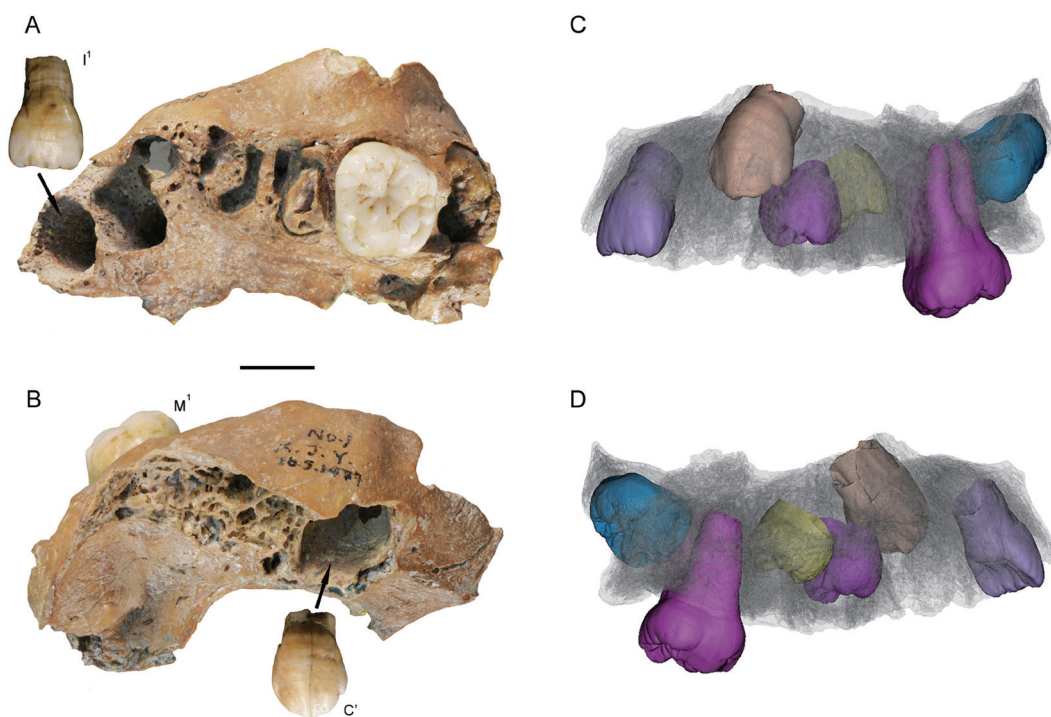


图 1 许家窑上颌骨(A和B)及恒齿的三维虚拟复原(C和D)

Fig.1 The Xujiaoyao maxilla (A: bottom view; B: top view) and the permanent teeth (C: buccal view; D: lingual view)

A: 上颌骨的底面及门齿的唇侧面; B: 上颌的顶面和犬齿的唇侧面; C: 上颌骨的唇侧面观显示所有恒齿;

D: 上颌骨的内侧面观显示所有恒齿 // A and B are figures of the Xujiaoyao original maxilla, C and D are

virtual reconstruction based on the data of micro-CT scanning

旋转扫描, 每个角度扫描 4 次。扫描分辨率为 $31.4\mu\text{m}$ (X,Y,Z 方向上一致)。扫描获得的投影图 (Raw projections) 通过 IVPP225kVCT_Recon 软件转换成断层图 (Tomographic slices)。将断层图导入 VGstudio 2.2 软件后保存数据为 Raw volume 格式文件。随后将 Raw volume 文件导入 Mimics 17.0 软件, 使用多层 (Multiple slices modification) 和三维运算功能 (3D calculating) 获得釉质表面的三维模型。通过上颌骨及牙齿的显微断层扫描和釉质表面的三维虚拟复原, 许家窑幼年个体的每颗恒齿的保存和生长情况可完整的展现出来。门齿和犬齿在发掘过程中从齿槽中脱落, 在三维虚拟复原过程中, 根据齿根的长度和齿槽的大小将这两颗牙齿复原回其对应的位置 (图 1)。

2.2.2 同步辐射扫描及虚拟复原

使用欧洲光源 ID19 号线站 (法国格勒市) 扫描许家窑幼年个体的 6 颗恒齿。扫描参数如下: 电压 73.7 keV, 电流 200 mA, 分辨率为 $6.34\mu\text{m}$, Propagation 距离 (样本与探测器之间距离) 为 4000 mm。获得断层图后, 将其导入 VGstudio 2.2 软件复原出许家窑幼年个体 6 颗恒齿的三维釉质表面, 用于观察该个体恒齿的釉质表面缺陷情况。为进一步观察釉质内部结构, 设置 61.8 keV 的电压和 250 mm 的 Propagation 距离后, 扫描 I^1 和 C' 齿冠颊侧的靠近中央部位、 M^1 的前尖齿尖、 M^2 后尖齿尖近旁四个区域, 分辨率为 $0.742\mu\text{m}$ 。高分辨率下 ($0.742\mu\text{m}$) 扫描视野较小 (仅为 $3.3\times 1.6\text{ mm}$), 难以扫描所有牙齿的全部釉质。获得断层图后, 将其导入 VGstudio 2.2 软件观察釉质内部结构, 并对可能存在的釉质内部缺陷进行三维虚拟复原。

3 结果

3.1 许家窑幼年个体牙齿表面的釉质缺陷

许家窑 I^1 和 C' 釉质表面有不均匀的着色, 但着色区域釉质无明显的物理损伤, 釉面横纹完整连续 (图 2)。 I^1 齿冠颊侧面近齿颈线的黄色小坑边缘光滑, 釉面横纹进入到坑内有弯曲, 但完整连续 (图 2b)。除该小坑外, I^1 颊侧面近中方向有一条近似纵向的沟状釉质凹陷。尽管沟内有少量疑似堆积物, 但其边缘光滑, 釉面横纹完整 (图 2a)。此外, 沟内未被疑似堆积物覆盖的区域釉质光滑, 横纹完整连续。 C' 齿冠颊侧面釉质有一着色较深的横向沟状釉质凹陷, 内有少量疑似堆积物粘连 (图 2c)。凹陷边缘光滑, 釉面横纹完整连续。

通过显微断层和同步辐射扫描并虚拟复原出许家窑其余未萌出牙齿后发现: 出现在 I^1 齿冠颊侧面的釉质凹陷大量出现在 P^3 、 P^4 、 M^1 、 M^2 上 (图 3)。经计数, P^3 、 P^4 、 M^1 、 M^2 釉质表面分别有 37、111、10、85 个小坑^[15]。这些坑状釉质凹陷边缘光滑、釉面横纹完整 (图 3)。

3.2 许家窑幼年个体牙齿釉质的内部构造

同步辐射扫描结果显示, I^1 和 C' 釉质密度均匀, 部分芮氏线清晰可见 (图 4、5)。釉质浅层区域未出现矿化减小的现象 (Subsurface hypomineralization); 因扫描过程中的边缘效应,

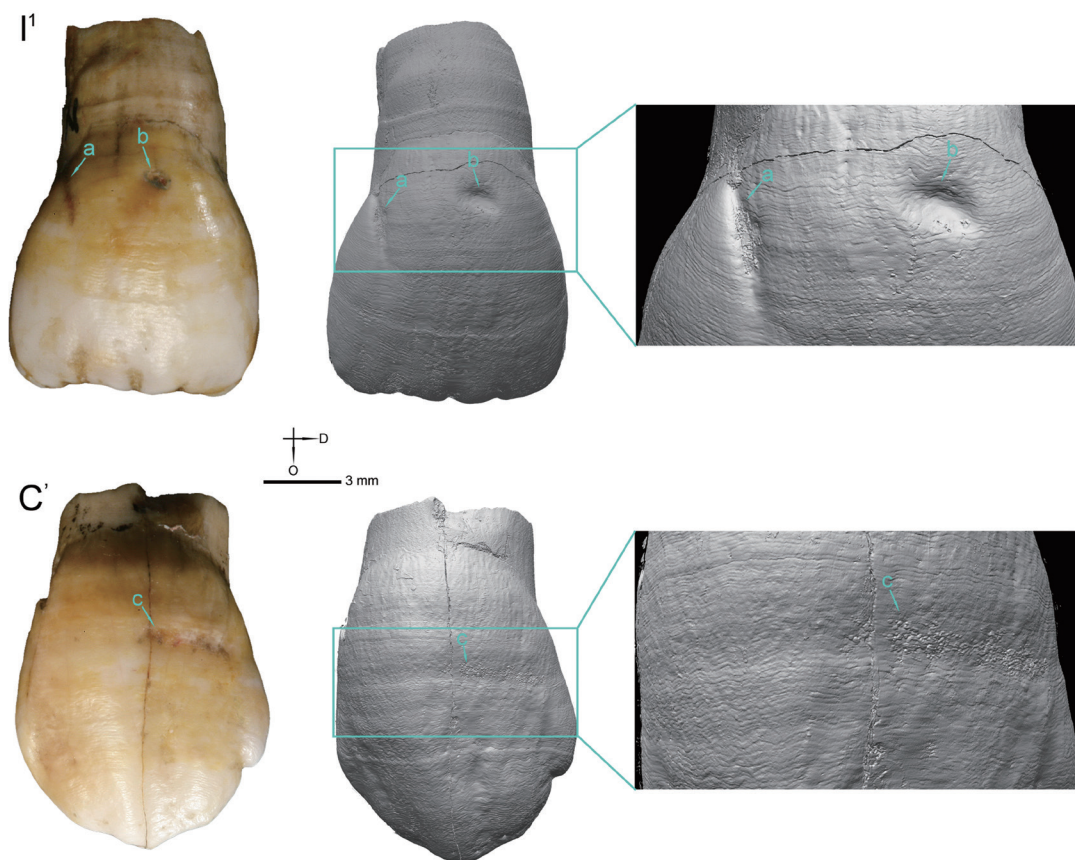


图2 许家窑 I¹ 和 C¹ 颊侧面化石照片 (第一列)、三维虚拟复原图 (第二列)、三维虚拟复原图局部放大 (a, b, c 分别代表三处表面釉质缺陷)

Fig. 2 The labial view of Xujiayao incisor and canine (First column: original teeth; second column: three-dimensional (3D) virtual reconstruction; third column: regional enlarged view of 3D virtual reconstruction). Symbols of a, b, c represent three enamel defects on the Xujiayao incisor and canine

断层图中釉质表面出现一层密度较大的“白色外壳”，且齿根、髓腔表面皆有分布，不能代表釉质表面高度矿化 (Hypermineralization) 现象。前臼齿和白齿扫描结果不能很好地展示断面釉质的分布情况，芮氏线不可见，故在此不再展示。

在使用微米级以下精度同步辐射扫描 M² 后尖区域时，发现两处釉质发育缺陷 (图 6)。坑状发育缺陷内壁有明显生长线分布，表明该缺陷是小范围釉质形成受到影响所致。在釉质缺陷底部，伴随有加重的生长线 (图 6)。另一处釉质缺陷分布范围较大，在加重生长线之后齿尖方向上的釉质形成停止 (图 6)。

I¹ 的微米级以下高精度扫描区域为齿冠颊侧近中央部位的一处 3.3×1.6mm 区域 (图 7)，此处浅层釉质有大量因釉柱中断而出现的空隙，主要集中在釉质外侧的三分之一范围内 (图 7、8)。釉质空隙的空间形状一般为圆球状，沿齿尖 - 齿颈方向分布不均匀 (图 8)。C¹ 齿冠颊侧的近中方向一处 3.3×1.6 mm 区域的微米级以下高精度扫描也显示该处浅层釉质存在大量因釉柱中断而出现的空隙，主要集中在釉质的三分之一区域内 (图 7、8)。空隙的

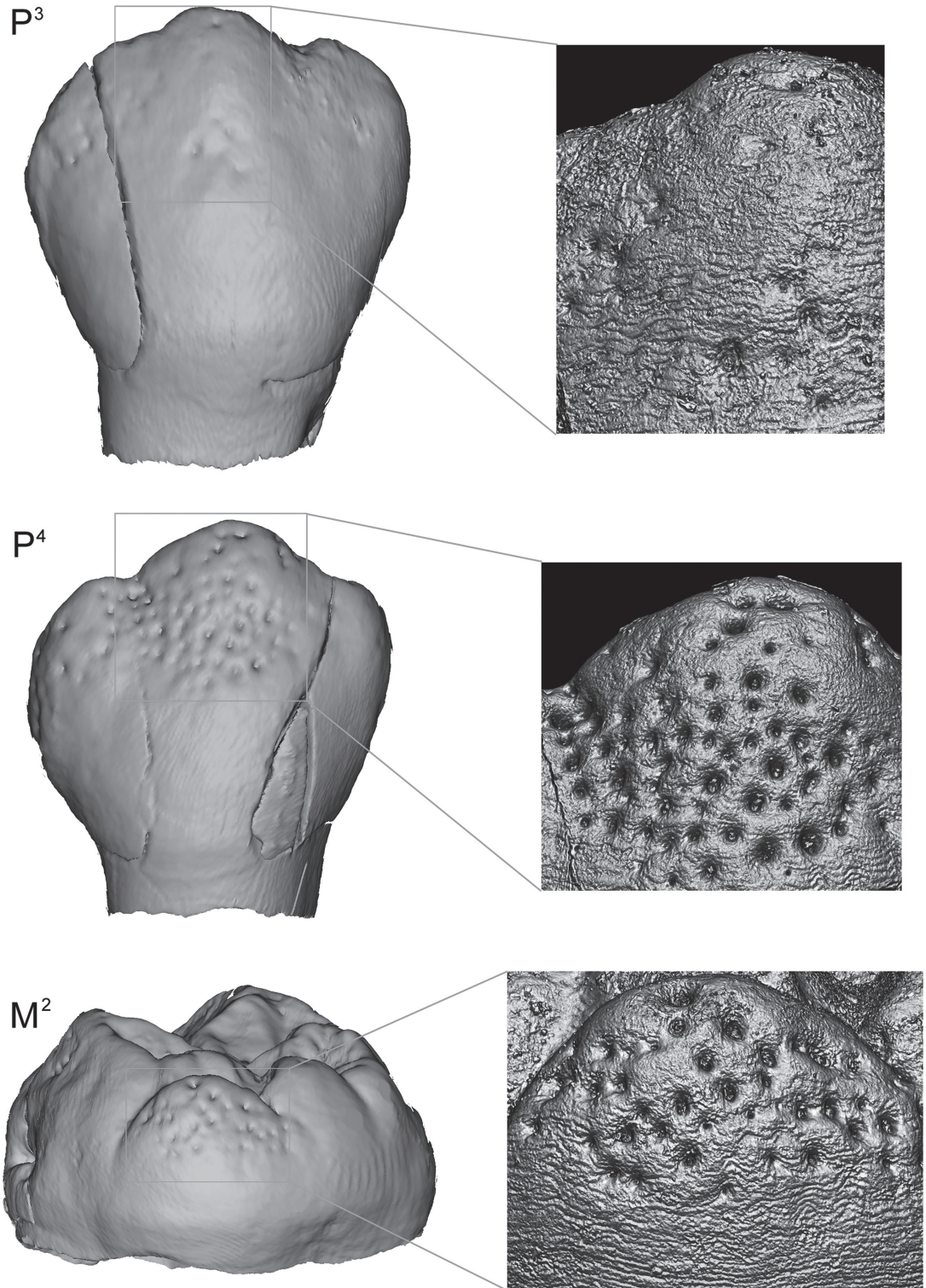


图3 许家窑 P^3 、 P^4 、 M^2 齿冠的三维虚拟复原。 P^3 和 P^4 显示的是颊侧面, M^2 显示的是远中舌侧面(即次尖)
Fig. 3 Three-dimensional (3D) virtual reconstruction of P^3 (buccal view), P^4 (buccal view), and M^2 (distolingual view)

空间形状一般为圆球状，沿齿尖 - 齿颈方向分布不均匀（图 8）。釉质空隙分布集中处对应釉质表面凹陷（釉质发育不良）（图 8 C'）。C' 釉质空隙密度要明显大于 I¹ 的（图 8）。M¹ 前尖的齿尖位置浅层釉质多处出现釉柱中断而导致釉质缺失的情况，空间分布不均匀（图 8、9）。釉质空隙三维结构形态各异，表现为圆球状、近似圆柱体状，邻接的釉质缺失区域有时相互连接（图 8）。釉质空隙的排列具有一定方向性，与釉质表面垂直。同样，在 M² 后尖的齿尖附近，浅层釉质也有不规则缺失，釉柱中断（图 9）。

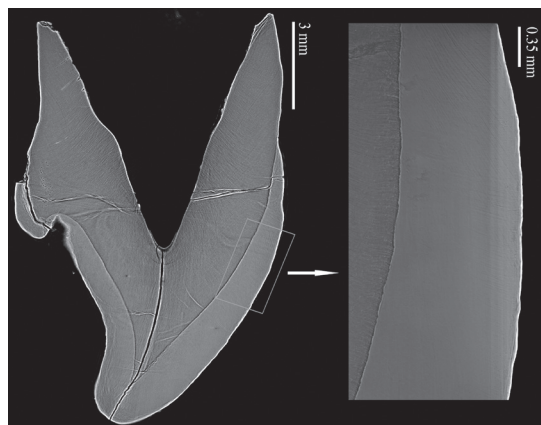


图 4 许家窑 I¹ 的二维纵切面及局部细节特征
Fig. 4 The sagittal section of Xujiayao I¹

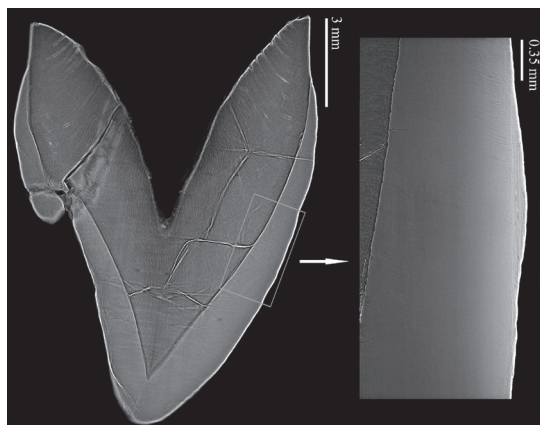


图 5 许家窑 C' 的二维纵切面及局部细节特征
Fig. 5 The sagittal section of Xujiayao C'

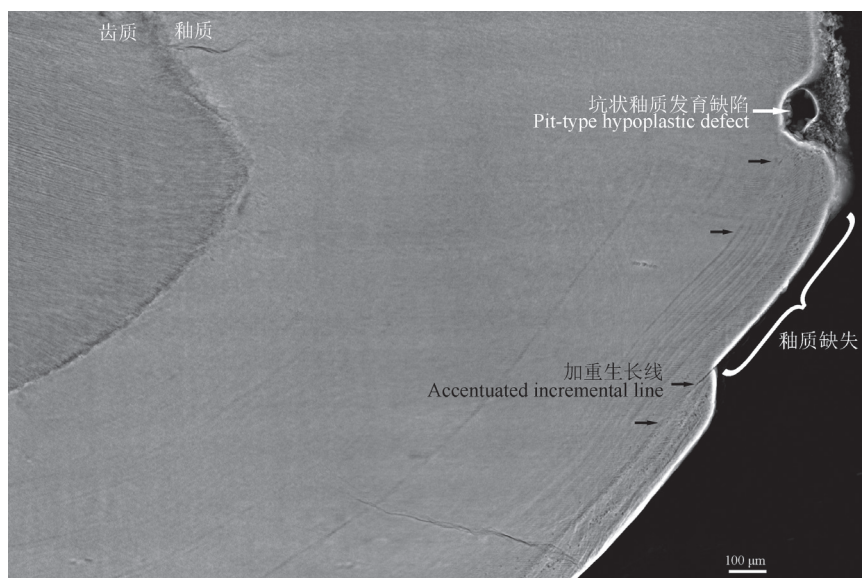


图 6 许家窑 M² 后尖区域釉质发育缺陷及对应的加重生长线。白色箭头：釉质发育缺陷（Pit-type hypoplastic defect）；黑色箭头：加重生长线（Accentuated incremental line）；白色括号：加重生长线之后齿尖方向上的釉质缺失

Fig. 6 The tomographic slice of Xujiayao M² at the area of metacone apex. White arrow: Pit-type hypoplastic defect; Black arrow: Accentuated incremental line; White parentheses: Large area of enamel deficiency after the accentuated incremental line

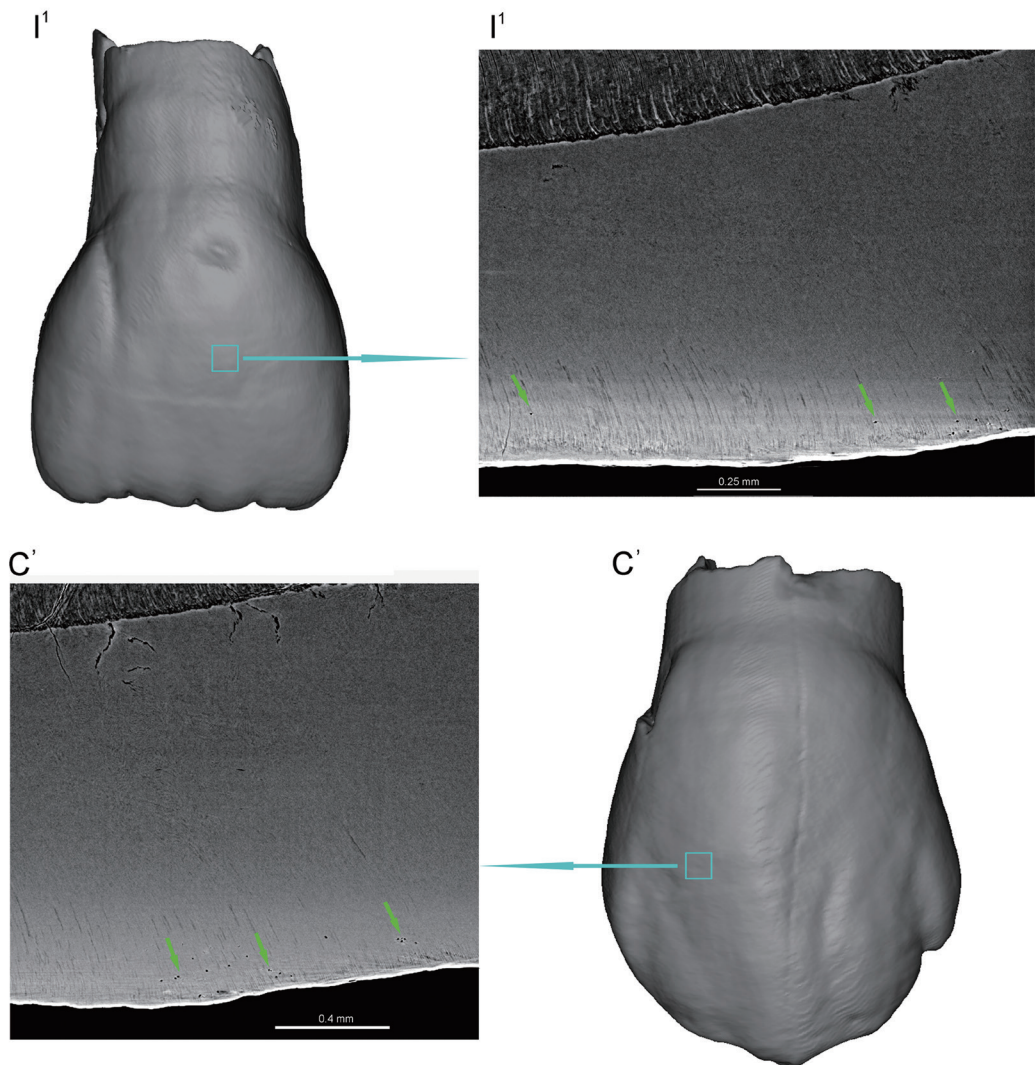


图 7 许家窑 I¹ 和 C¹ 釉质的二维纵切面（同步辐射扫描）及对应扫描位置。断层图中的箭头指示釉质缺失位置
 Fig.7 Sagittal slices of the Xujiayao I¹ and C¹ and the scanned locations by synchrotron. The arrows in the tomographic slices indicate the enamel porosity

4 讨论

4.1 许家窑幼年个体前部牙齿上黄色小坑不是典型氟斑牙病症

继电子显微镜和显微断层扫描之后^[15]，本文基于同步辐射扫描更加清晰的复原了许家窑幼年个体前部牙齿上所谓“氟斑牙病病灶”区域的表面三维结构。尽管这两处区域（见图 2b、c）以及门齿上另外一处区域（见图 2a）出现釉质凹陷，但凹陷边缘光滑过渡，釉

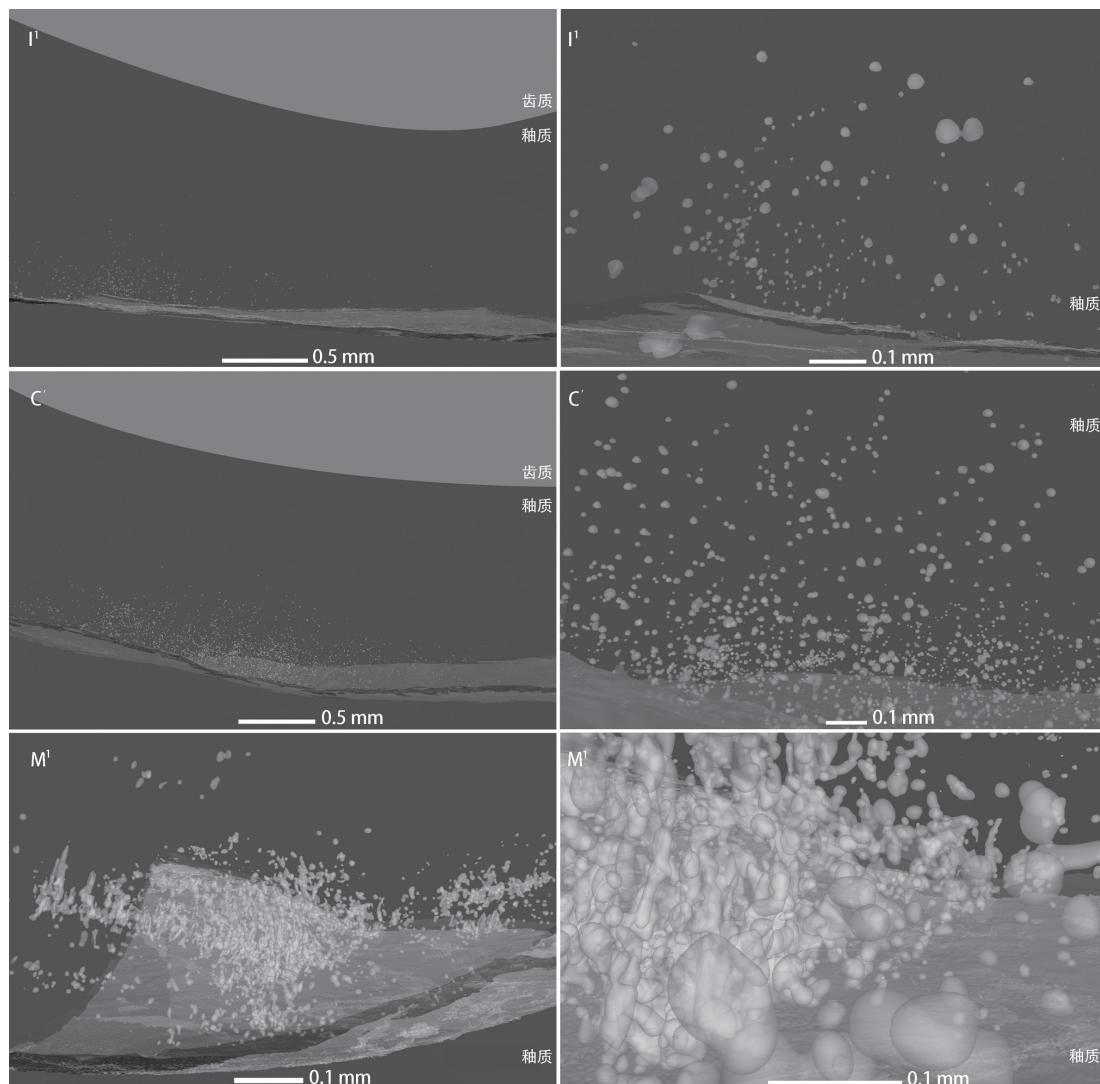


图 8 许家窑 I¹ 和 C¹、M¹ 釉质内部发育缺陷的三维虚拟复原及局部细节展示 (侧面观)

Fig.8 The three-dimensional (3D) virtual reconstruction of the enamel porosity in the Xujiayao I¹, C¹, and M¹ viewed laterally

面横纹清晰完整, 无任何生前或死后的破损痕迹。典型氟斑牙的釉质表面缺陷主要是在牙齿萌出后由咀嚼等压力而带来的物理破损^[20, 24], 因此许家窑幼年个体前部牙齿上的三处黄色釉质凹陷不是典型氟斑牙病症^[15]。许家窑幼年个体牙齿釉质表面出现的黄色浸染现象可能与地层堆积物有关, 同样颜色沉积普遍存在于伴生哺乳动物牙齿的釉质上^[15]。至于地层中何种元素造成这一颜色沉积需要通过进一步的化学分析确认。

除电子显微镜和显微断层扫描外, 基于同步辐射扫描复原的牙齿釉质表面的细节特征再次显示, 许家窑幼年个体前部牙齿上的三处釉质缺陷是在发育过程中形成的, 代表的釉质发育不良^[17]。典型氟斑牙和釉质发育不良均是釉质发育缺陷, 但两者发病机理不同。

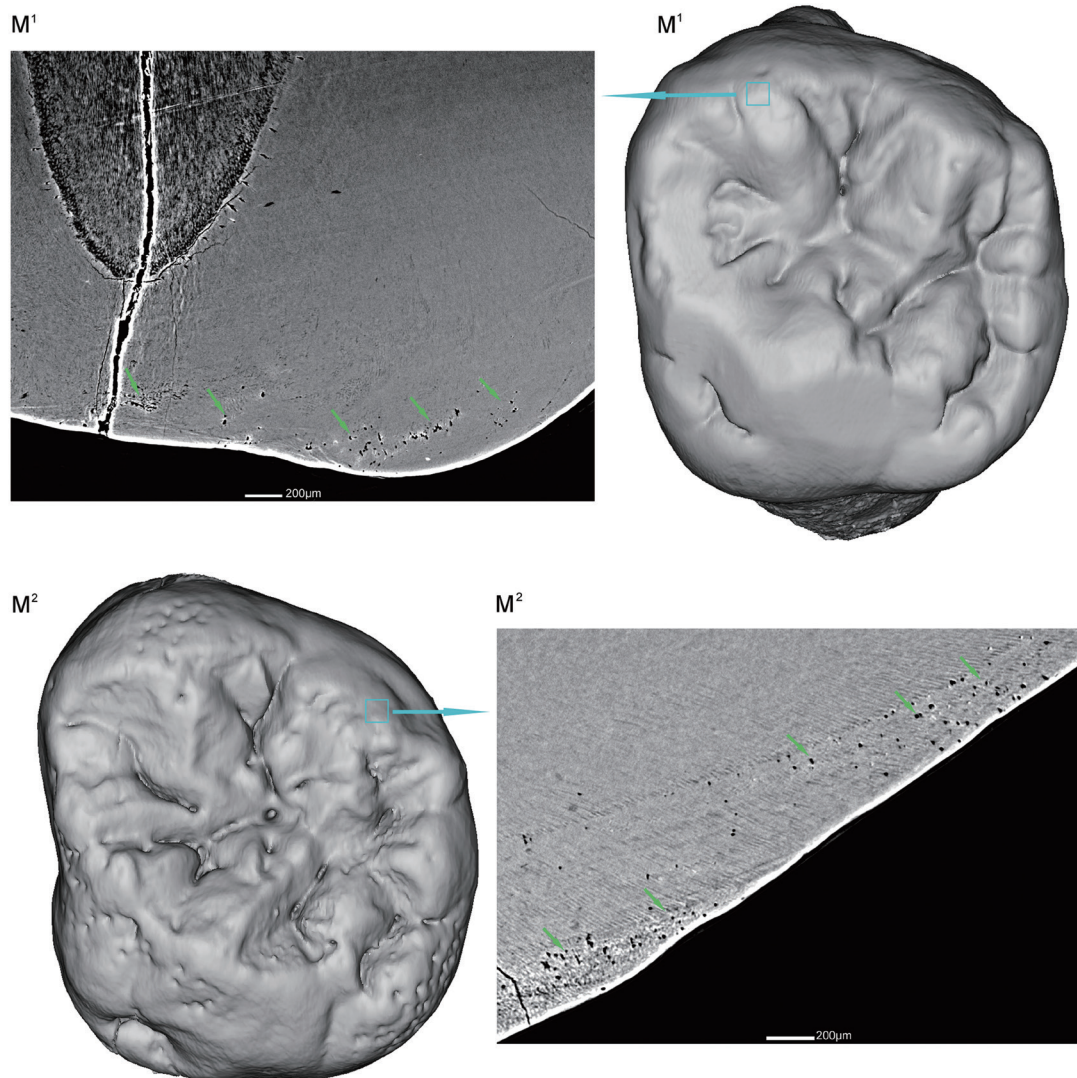


图 9 许家窑 M¹, M² 二维纵切面（同步辐射扫描）及对应扫描位置。断层图中的箭头指示釉质缺失位置
Fig.9 Sagittal slices of the Xujiayao M¹ and M² and the scanned locations by synchrotron. The arrows in the tomographic slices indicate the enamel porosity

典型氟斑牙的产生主要是因为氟元素的持续摄入和积累影响了釉质的分泌 / 成熟过渡期和成熟期（或总称为后分泌期）蛋白酶降解牙釉蛋白（Amelogenin）架构，从而阻碍接下来的釉质矿化所致^[18-19, 21-23]。氟元素可能是通过影响成釉细胞的周期活动，也可能是通过形成结晶进而与蛋白架构相互作用，或通过改变钙离子的含量而影响蛋白酶的水解功能起作用的（详见参考文献 [22-23]）。釉质发育不良的产生是由于儿童期个体发烧、营养不良等生理因素影响成釉细胞分泌牙釉蛋白所致的^[17]。

4.2 许家窑幼年个体釉质发育不良的发病机理

尽管许家窑幼年个体牙齿表面的釉质凹陷不是氟斑牙的典型病症,但并不能排除是氟摄入过量导致的。典型的氟斑牙(釉质表面呈现乳白色、浅层釉质矿化不足、受外力破损后染色)主要是因为氟元素影响了釉质形成过程中的后分泌期而导致的。据在哺乳动物上开展的实验结果显示^[27-30],氟的过渡摄入也可影响釉质形成过程的分泌期(Secretory stage),导致牙釉质表面出现大量坑状的釉质发育缺陷,并在缺陷的底部伴随一条加重的生长线。这些氟摄入过量影响釉质形成分泌期而造成的釉质发育缺陷特征与许家窑幼年个体牙齿表现出来的特点接近。然而,这不能完全排除许家窑幼年个体牙齿上的坑状釉质发育缺陷是由其他影响釉质分泌期的因素导致的可能性。过量氟的摄入和其他生理扰乱因素导致的釉质发育不良均是通过影响成釉细胞的分泌活动而进行的^[30-31]。在结构上,两者皆表现出无釉柱釉质(aprismatic enamel)、加重生长线、釉质的表面缺失等特征^[30-31]。因此,坑状的釉质发育不良不能作为个体氟摄入过量的可靠证据。

过去研究还发现许家窑幼年个体不同恒齿表面坑状釉质发育缺陷数量有明显差别^[15]。具体来看,在生长发育过程中后形成的前臼齿和第二臼齿表面釉质发育缺陷要明显多于先前部牙齿和第一臼齿(图2、3、9),这种变化可能与个体生活史的改变有关。在氟元素摄入过量而导致釉质结构改变的哺乳动物研究中发现,出生前以及断奶前形成的牙齿相对后来形成的牙齿受氟元素的影响相对较小^[31]。

4.3 许家窑幼年个体釉质内部结构缺失

本文使用同步辐射技术在不物理切割化石标本的情况下,高清(微米级以下)展示了许家窑幼年个体恒齿不同位置的釉质内部结构。结果显示,本文所扫描的I¹和C¹齿冠颊侧中央位置,M¹和M²的齿尖位置的釉质内部均有大量圆球状釉质缺失(图8)。缺失部分主要集中在釉质的外侧三分之一范围内,对应釉质形成的后期。釉质缺失沿齿尖-齿颈方向上的密集程度也不均一,且在C¹上观察的缺失集中分布区域对应的釉质表面有一明显的凹陷(釉质发育不良)(图8)。此外,M¹前尖区域的内部釉质缺失的长轴走向呈现垂直于釉质表面的趋势。这些分布规律指示釉质的缺失不是后期埋藏环境造成的,而是釉质生长过程受到影响而产生的。在犬齿上观察到的釉质内部缺失的集中分布区域与表面釉质发育不良相对应来看,许家窑幼年个体的釉质内部缺失很可能也是釉质形成过程的分泌期受影响而导致的。

此外,本文还发现,许家窑幼年个体不同牙齿之间内部釉质缺失的密集程度有所差别,这可能反应该个体在不同发育阶段所应对外界扰乱力度不同。

4.4 许家窑人成年个体牙齿的釉质发育状况

除1号幼年个体外,许家窑地点还出土了另外三颗成年个体牙齿,分别为M¹、M³、M₃(见参考文献[12]中图3)。根据牙齿磨损程度和牙齿萌出顺序判断,这三颗牙齿可能属于三个不同个体^[12]。M¹釉质表面光滑,侧面和咬合面釉质均有不同程度的黄色浸染。M³前尖的近中颊侧釉质缺失,断口较为锐利、无明显颜色浸染;齿冠四周有不均匀分布的黄褐色地层胶结物粘连;后尖齿尖附近有两处坑状釉质凹陷、边缘光滑。M₃侧面釉质有不均匀分布的黄褐色地层胶结物粘连,且相互之间有连接成带状的趋势。总起来看,许

家窑人成年个体的三颗牙齿与许家窑幼年个体牙齿不同,未出现大量的坑状釉质发育不良或其他釉质发育缺陷。尽管三颗成年个体牙齿釉质上存在大量黄色斑块,但主要是由于地层胶结物粘连或疑似地层浸染所致。然而,需要注意的是,许家窑成年个体的三颗牙齿磨损相对较重,未保留明显的齿尖区域,这可能会影响对其釉质发育缺陷的判断。假设许家窑人三颗成年个体牙齿现在状态可以代表牙齿未磨损前的样貌,那么他们的釉质发育状况可能说明与幼年个体生活在同一环境下的三个成年个体没有因摄入过量的氟而出现釉质发育缺陷,从而暗示许家窑幼年个体的釉质发育不良可能是由于其他生理因素引起的。然而,个体对氟的耐受性因体重、活动水平、营养水平、骨骼生长和重塑速率等因素而不同^[32]。所以,许家窑人成年个体的釉质发育状况并不能很好的指示幼年个体釉质发育缺陷的病因。

4.5 氟元素与氟斑牙的发生

未来可对埋藏许家窑人化石的堆积物中以及许家窑人牙齿中的氟含量进行测定,以进一步确定许家窑人个体的生活环境中有过量的氟以及许家窑人个体摄入了过量氟元素,从而对许家窑人是否受氟元素的影响而产生釉质发育缺陷有一个综合的了解。然而,有几点需要注意,一是化石牙齿经过长时间埋藏,可能会受到堆积物中可能含有的氟的影响。第二,堆积物中尽管可能含有较高的氟元素,但是否能够代表许家窑人生活时代的环境也含有大量氟需要谨慎对待。此外,即使能够确认许家窑人在生活时期暴露在含有大量氟的环境中,但环境中的氟含量、人体摄入的氟与是否形成氟斑牙没有绝对对应关系^[33-34]。氟斑牙的发生与个体的耐受性相关,如个体体重、活动水平、营养水平、骨骼生长和重塑速率等因素都可影响氟的作用发挥^[33]。

致谢:中国科学院古脊椎动物与古人类研究所侯叶茂在三维重建过程中给予了大力帮助,欧洲光源 Paul Tafforeau 博士使用同步辐射扫描了许家窑幼年个体牙齿,Horst Kierdorf 在氟斑牙的鉴定上提供了参加意见,在此本文作者表示衷心感谢!

参考文献

- [1] 贾兰坡,卫奇,李超荣. 许家窑旧石器时代文化遗址-1976年发掘报告[J]. 古脊椎动物与古人类, 1979,17: 277-293
- [2] 吴茂霖. 许家窑遗址 1977 年出土的人类化石[J]. 古脊椎动物与古人类, 1980, 18: 229-238
- [3] 吴茂霖. 许家窑人颞骨研究[J]. 人类学学报, 1986, 5: 220-226
- [4] 陈铁梅,原思训,高世君. 铀子系法测定骨化石年龄的可靠性研究及华北地区主要旧石器地点的铀子系年代序列[J]. 人类学学报, 1984, 3: 259-269
- [5] Nagatomo T, Shitaoka Y, Namioka H, et al. OSL dating of the strata at Paleolithic sites in the Nihewan Basin, China[J]. Acta Anthropologica Sinica, 2009, 28: 276-284
- [6] Li Z, Xu Q, Zhang S, Hun L et al. Study on stratigraphic age, climate changes and environment background of Houjiayao Site in Nihewan Basin[J]. Quaternary international, 2014, 349: 42-48
- [7] Tu H, Shen G, Li H et al. 26Al/10Be burial dating of Xujiayao-Houjiayao site in Nihewan Basin, northern China[J]. PLoS ONE, 2015, 10, e0118315
- [8] Ao H, Liu CR, Roberts AP et al. An updated age for the Xujiayao hominin from the Nihewan Basin, North China: Implications for Middle Pleistocene human evolution in East Asia[J]. Journal of Human Evolution, 2017, 106: 54-65
- [9] 王法岗,李锋. “许家窑人”埋藏地层与时代探讨[J]. 人类学学报, 2019, 38(e). DOI: 10.16359/j.cnki.cn11-1963/q.2019.0025
- [10] Wu XJ, Crevecoeur I, Liu W et al. Temporal labyrinths of eastern Eurasian Pleistocene humans[J]. Proceedings of the National

- Academy of Sciences of the United States of America, 2014, 111: 10509-10513
- [11] Wu XJ, Trinkaus E. The Xujiayao 14 mandibular ramus and Pleistocene *Homo* mandibular variation[J]. *Comptes Rendus Palevol*, 2014, 13: 333-341
- [12] Xing S, Martínón-Torres M, Bermúdez de Castro JM et al. Hominin teeth from the early Late Pleistocene site of Xujiayao, Northern China[J]. *American Journal of Physical Anthropology*, 2015, 156: 224-240
- [13] Wu XJ, Xing S, Trinkaus E. An enlarged parietal foramen in the late archaic Xujiayao 11 neurocranium from northern China, and rare anomalies among Pleistocene *Homo*[J]. *PLoS ONE*, 2013, 8: 59587
- [14] Wu XJ, Trinkaus E. Neurocranial trauma in the late archaic human remains from Xujiayao, Northern China[J]. *International Journal of Osteoarchaeology*, 2015, 25: 245-252
- [15] Xing S, Guatelli-Steinberg D, O'Hara M et al. Micro-CT Imaging and Analysis of Enamel Defects on the Early Late Pleistocene Xujiayao Juvenile[J]. *International Journal of Osteoarchaeology*, 2016, 26: 935-946
- [16] 李森照, 卫奇. 从“许家窑人”的牙病说起[J]. *化学通报*, 1980, 12: 9
- [17] Hillson S, Bond S. Relationship of enamel hypoplasia to the pattern of tooth crown growth: a discussion[J]. *American Journal of Physical Anthropology: The Official Publication of the American Association of Physical Anthropologists*, 1997, 104: 89-103
- [18] Fejerskov O, Johnson NW, Silverstone LM. The ultrastructure of fluorosed human dental enamel[J]. *European Journal of Oral Sciences*, 1974, 82: 357-372
- [19] Fejerskov O, Thylstrup A, Larsen MJ. Clinical and structural features and possible pathogenic mechanisms of dental fluorosis[J]. *European Journal of Oral Sciences*, 1977, 85: 510-534
- [20] Fejerskov O, Yanagisawa T, Tohda H et al. Posteruptive changes in human dental fluorosis--a histological and ultrastructural study[J]. *Proceedings of the Finnish Dental Society. Suomen Hammaslaakariseuran toimittuksia*, 1991, 87: 607-619
- [21] DenBesten PK, Crenshaw, MA. The effects of chronic high fluoride levels on forming enamel in the rat[J]. *Archives of oral biology*, 1984, 29: 675-679
- [22] Aoba T, Fejerskov O. Dental fluorosis: chemistry and biology[J]. *Critical Reviews in Oral Biology & Medicine*, 2002, 13:155-170
- [23] DenBesten P, Li W. Chronic fluoride toxicity: dental fluorosis[J]. *Fluoride and the oral environment*, 2011, 22: 81-96
- [24] Thylstrup A, Fejerskov O. Clinical appearance of dental fluorosis in permanent teeth in relation to histologic changes[J]. *Community dentistry and oral epidemiology*, 1978, 6: 315-328
- [25] Dean HT. Fluorine in the control of dental caries. *The Journal of the American Dental Association*, 1956, 52:1-8
- [26] Hillson SW. *Dental Anthropology*[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1996
- [27] Walton RE, Eisenmann DR. Ultrastructural examination of various stages of amelogenesis in the rat following parenteral fluoride administration[J]. *Archives of oral biology*, 1974, 19:171-IN17
- [28] Monsour PA, Harbrow DJ, Warshawsky H. Effects of acute doses of sodium fluoride on the morphology and the detectable calcium associated with secretory ameloblasts in rat incisors[J]. *Journal of Histochemistry & Cytochemistry*, 1989, 37: 463-471
- [29] Kierdorf H, Kierdorf U. Disturbances of the secretory stage of amelogenesis in fluorosed deer teeth: a scanning electron-microscopic study[J]. *Cell and tissue research*, 1997, 289: 125-135
- [30] Kierdorf H, Kierdorf U, Richards A et al. Fluoride-induced alterations of enamel structure: an experimental study in the miniature pig[J]. *Anatomy and embryology*, 2004, 207: 463-474
- [31] Witzel C, Kierdorf U, Schultz M, et al. Insights from the inside: Histological analysis of abnormal enamel microstructure associated with hypoplastic enamel defects in human teeth[J]. *American Journal of Physical Anthropology*, 2008, 136: 400-414
- [32] Kierdorf H, Kierdorf U, Richards A et al. Disturbed enamel formation in wild boars(*Sus scrofa* L.) from fluoride polluted areas in Central Europe[J]. *The Anatomical Record: An Official Publication of the American Association of Anatomists*, 2000, 259: 12-24
- [33] DenBesten PK. Dental fluorosis: its use as a biomarker[J]. *Advances in dental research*, 1994, 8: 105-110
- [34] Whitford GM. Intake and metabolism of fluoride[J]. *Advances in dental research*, 1994, 8: 5-14

Enamel defects of the Xujiayao juvenile

XING Song^{1,2}

1. Key Laboratory of Evolutionary Systematics of Vertebrates, Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100044; 2. CAS Center for Excellence in Life and Paleoenvironment, Beijing 100044

Abstract: The hominin fossils recovered from Xujiayao-Hsuchiayao (Locality 74093) site is critical in understanding the morphological variability of hominins from the period of Middle to late Pleistocene transition. Other than the morphologies, the pathological aspects of Xujiayao hominins were also investigated and the juvenile (Xujiayao 1) was believed to be suffered from dental fluorosis based on the presence of the yellow pit or furrow on its anterior teeth. The incidence of “dental fluorosis” in Xujiayao has been thought to represent the earliest evidence of this pathological anomaly. However, with the use of scanning electron microscopy (SEM) and microcomputed tomography (micro-CT), the yellow enamel defects were found to be hypoplastic alternation that occurred before the tooth eruption. They were not post-eruptive physical breakage resulted from chewing force and therefore don’t support the diagnosis of dental fluorosis. In addition, synchrotron phase-contrast microtomography of the anterior teeth under both micron and submicron resolutions didn’t show obvious sign of subsurface hypomineralization along the sagittal section of the enamel, and it doesn’t support the occurrence of dental fluorosis resulted from the disturbance of enamel maturation phase. However, plenty of pit-type hypoplastic defects were present on the enamel surface of the Xujiayao permanent teeth and the bottom of the enamel pits were underlain by accentuated incremental line. This type of enamel defects could be resulted from distributed secretory stage of enamel formation by excessive fluoride intake according to the experimental study on mammals. Apart from the surface defects, synchrotron scanning under submicron resolution at four different spots of Xujiayao permanent teeth reveals plenty of enamel holes inside the crown. These holes have a sphere-like shape and generally restricted to outer one-third area of the enamel thickness. Different locations within one scanning spot vary in the density of enamel holes. In canine, the enamel holes of high-density correspond with a hypoplastic depression on the enamel surface. Enamel holes inside the paracone apex of M¹ are in some cases connected with each other, with the main axis perpendicular to the outer enamel surface. These characteristics indicate a non-random distribution pattern of the enamel holes, and that they might be caused by the same effects as that of enamel hypoplasia. Teeth forming at different times vary in the density of hypoplastic pits and enamel holes, and this might imply various level of physiological disturbance at different stages of dental growth and development. Future study could further quantify the fluoride content in the deposit containing the Xujiayao hominin fossils, as well as in the tooth enamel, in order to ascertain if the Xujiayao people used to live a fluoride-rich environment and if they did ingest enough fluoride. With this information, the mechanism of enamel defects in Xujiayao juvenile could be more thoroughly understood.

Keywords: Xujiayao hominin; Dental fluorosis; Synchrotron; Enamel defect