

中国人牙齿形态测量分析 ——近代人群上、下颌前臼齿齿冠轮廓形状及其变异

邢 松^{1,2}, 周 蜜³, 刘 武¹

(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. 中国科学院研究生院,北京 100039; 3. 湖北省文物考古研究所,武汉 430077)

摘要: 采用基于标志点的几何形态测量方法对在河南和湖北地区考古遗址出土的 291 颗近代人群上、下颌前臼齿($P^1 = 72; P^2 = 72; P_1 = 73; P_2 = 74$) 齿冠轮廓形状(包括外轮廓及内轮廓形状)进行了分析。结果显示: P^1 齿冠轮廓基本对称,颊侧部分向近远中方向突出;齿尖夹角区呈不规则狭长菱形,舌侧尖向近中方向偏移。 P^2 齿冠轮廓对称,颊侧部分向近远中方向的突出程度存在明显的个体差异;齿尖夹角区由于舌侧尖向近中方向偏移而呈不规则菱形。 P^1 和 P^2 内外轮廓形状具有明显的重叠范围。 P_1 齿冠轮廓不对称,齿冠近中舌侧部分内缩;齿尖区靠近近中舌侧,近似方形。 P_2 齿冠轮廓基本对称;齿尖区靠近齿冠中央,因近中舌侧尖向近中方向偏移而呈不规则狭长菱形。 P_1 和 P_2 内外轮廓形状重叠范围很小。 P^1 、 P^2 齿冠和齿尖夹角区各个部分所表现出来的变异大小、方式基本相同;依据齿尖与齿冠基底边缘的距离大小可以将 P^1 分为两种类型,依据颊侧部分向近远中方向的突出程度可以将 P^2 分为两类。 P_1 、 P_2 变异相对于上颌两颗前臼齿来说较大,且变异主要集中在齿冠的近远中舌侧、齿尖夹角区的后凹点和舌侧尖;两者的变异大小范围稍有差别; P_1 和 P_2 主要分为三类,区别在于颊舌径和近远中径的大小比例、齿尖区后凹点和舌侧尖的位置上。异速生长分析显示所有四颗前臼齿的大小变化对轮廓形状的影响不大。

关键词: 前臼齿; 齿冠形状; 几何形态测量; 现代中国人

中图法分类号: Q983.8 文献标识码: A 文章编号: 1000-3193 (2010) 02-0132-48

1 引言

人类牙齿在形成后一般不易受环境因素影响而改变形态,因而在古人类学及相关的体质人类学研究中具有重要的价值^[1-5]。多年来,有关学者采用不同方法采集牙齿特征信息,进行演化及人群关系的研究。在观察性形态特征方面,亚利桑那州立大学牙齿人类学系统(ASU 系统)^[6]通过对牙齿非测量性状的分析在研究近代及现代人群关系方面发挥了重要的作用,但这套系统提供的牙齿变异信息有限,且主观因素较大^[4]。对古人类牙齿特征的传统形态分析也存在了类似的不足。相比之下,对牙齿线性测量数据的分析能够取得比较准确的数据,在一定程度上避免主观因素的影响。然而,这种对牙齿线性测量数据的分析方法仍然无法精确获取牙齿大小的形状信息。其主要原因是人类牙齿形状不规则,无法用简

收稿日期: 2009-08-03; 定稿日期: 2009-12-29

基金项目: 国家自然科学基金(40972017); 科技部国际合作重点项目(2009DFB20580); 湖北省文物局南水北调工程丹江口库区文物保护科研课题(NK13); 国家自然科学基金委员会项目(J0930007)资助。

作者简介: 邢松,中国科学院古脊椎动物与古人类研究所研究生, E-mail: xingsongh@yahoo.com.cn

单的线性测量数据反映其大小及其比例方面的信息。典型的例子是对齿冠面积的测量计算,用齿冠颊舌径和近远中径相乘得到面积是假设齿冠是一个规则的长方体或者正方体,但实际上人类牙齿齿冠是不规则的,所以这样计算的误差是很大的^[7]。

近 20 年来,对生物体形状(Shape)信息的研究受到了日益增多的关注^[8]。研究发现生物过程的多样性能够通过个体之间或者个体部分器官之间的差别反映出来,比如说某个基因的表达与否,对生存环境的不同适应方式,或者长时间的进化分化。因此,形状的不同可能暗示生物个体之间的相同部分发挥着不同的作用,对自然选择压力有不同反映,或者生长发育过程有所差异^[8]。这种对生物体大小形状及比例关系的研究方法被命名为形态测量。与非测量性状及传统的线性测量相比,形态测量侧重对标本形状和大小比例关系的量化分析^[8]。形态测量分析在古人类牙齿研究方面得到了较多的应用。Bailey^[9]利用该技术测量了尼安德特人、部分古人类以及现代人 M¹ 齿尖和齿尖夹角区相对面积、齿尖夹角,并对齿尖的排列、相对齿尖基底面积和相对齿尖区面积对齿冠轮廓形状影响做出了阐释,发现尼安德特人与现代人之间相对齿尖基底面积、齿尖区夹角、齿尖区相对面积以及齿冠某部分的性状都有明显的差异,并认为尼人的一些特性属于衍生的性状。尽管这些方法所反映的性状信息已经大大超出以前传统的形态测量,但是该方法不能够反映齿冠的局部变化和各个部分的空间位置关系,所以这种方法只能称作是经典的形态测量^[8,10-11]。

上世纪 80 年代, Yamada^[12]尝试对白齿轮廓形状进行分析。他从臼齿咬合面中央凹向齿冠外轮廓边缘等角度放射出 36 条线,通过测量这些放射线的长度,对上颌三颗臼齿外轮廓进行了形态测量分析,发现三颗臼齿颊舌径方向上的外轮廓变异大于近远中径方向上的,次尖区域的变异最大, M¹ 是三颗上颌臼齿中变异最小的一颗。这一方法较精确细致地提取了上颌臼齿外轮廓的形状变异信息,已经涉及到了牙齿的几何形态特征。但由于这种方法缺乏简便性,没有得到广泛应用。近年来,数字摄影和图像处理技术的发展和技术的结合使得快捷而准确的研究生物体某一部分的几何形状形态信息成为可能。基于对样本标志点数据采集和分析的几何形态测量(Geometric morphometric)方法开始用于古人类学研究^[11]。标志点(Landmark)是生物体具有的某些可被定义的解剖位点^[8],如齿尖的最高点。但是这一方法在研究缺少标志点的解剖结构时表现出了局限性,如牙齿的齿冠轮廓性状。半标志点(Semilandmarks)和半标志点滑动技术的发明解决了这一问题^[13]。半标志点在某种程度上被认为是数学上有缺陷的,但是在研究缺少明显生物特征结构的形状之间差别时候非常有用^[11,14-15]。标志点和半标志点的结合大大丰富了牙齿分析中的形状信息,同时也将尺寸(Size)考虑在内,克服了传统的形态测量和方法的缺陷^[5]。所以,牙齿的几何形态测量分析在比较古人类之间的差别、解决某些古人类的分类地位、探讨不同人群之间的关系方面受到越来越多的重视^[4-5,16]。

一些研究证明,下颌前臼齿的形态变异在人类演化及种群划分方面具有重要价值^[17-19]。由于下颌前臼齿形状不规则,尤其适合采用几何形态测量方法进行分析。Wood^[18]对南方古猿以及非洲早期人属 P₃ 和 P₄ 的一些特征进行了研究,发现 P₃ 和 P₄ 的尺寸大小、齿冠形状、齿尖数目、舌侧尖的位置、中央沟以及齿尖的相对和绝对面积在南方古猿种属间存在差异。Bailey^[19]通过肉眼观察和基于外轮廓的几何形状定量分析方法发现尼安德特人 P₄ 的齿冠轮廓极其不对称,并指出该特征属于尼安德特人的衍生性状,可以有效地将现代人以及其他古人类与尼人区别开来。Gómez-Robles^[4]采用几何形态测量的方法对南

方古猿和更新世人类 P_3 进行了分析,发现齿冠轮廓不对称是一种原始性状,而现代人齿冠轮廓基本是对称的。Martinón-Torres^[5]也利用该方法研究了 P_4 的几何形态特征,发现不对称的轮廓、后尖向近中靠近、扩大的跟座和较宽大的齿尖区属于原始特性。与下颌前臼齿相比,有关上颌前臼齿的研究报道相对较少。Wood^[20]通过上颌前臼齿线性测量和相对齿尖面积的测量发现,上颌前臼齿齿冠指数能够将人属成员与南方古猿区分开来;南方古猿不同种属相对齿尖面积差别最明显的在前臼齿,其中南方古猿鲍氏种因具有较大的颊侧尖而特殊。在这些研究中,现代人群数据无论对于演化研究,还是对于人群间的对比分析都是不可缺少的对比数据。虽然有关学者对前臼齿开展了许多研究,但还没有人专门对现代人,尤其是东亚地区现代人的前臼齿进行专门研究。现代东亚人群前臼齿基本形状如何、变异多大都不是很清楚。鉴于此,本文将采用几何形态测量方法对中国不同地区现代人 P^1 、 P^2 、 P_1 、 P_2 进行分析,研究前臼齿齿冠外轮廓和内轮廓的几何形态及变异,同时为未来人类演化及人群关系研究积累基础数据。

2 材料与方 法

2.1 材 料

用于本文研究的前臼齿标本共 291 颗 ($P^1 = 72$; $P^2 = 72$; $P_1 = 73$; $P_2 = 74$)。这些牙齿全部来自考古遗址出土的古代居民遗骸,其中河南浙川下王岗的标本为新石器时代,湖北库区的标本分属于新石器时代、东周、汉代、宋代及明清时期。表 1 罗列了牙齿标本的具体情况。对有断裂、邻接面严重磨损、咬合面严重磨损,大范围龋齿裂隙及钙质结合严重的牙齿予以剔除。由于本文的研究将涉及到齿尖区,所以齿质点暴露和各齿尖区严重磨损导致齿尖最高点无法确认的牙齿标本也将不包括在研究中。

表 1 本文使用的牙齿标本

Tab. 1 Dental specimens used in the present study

标本	P^1	P^2	P_1	P_2
河南浙川下王岗	30	19	25	24
湖北库区	42	53	48	50
总数	72	72	73	74

2.2 齿冠咬合面拍摄及图像处理

使用配有微距镜头的 Canon EOS-5D 对上、下颌每一颗前臼齿咬合面拍摄高分辨率的照片。拍照前,用铅笔标示出牙齿齿尖最高点,以便于在随后的分析中准确确定齿尖最高点位置。对于齿尖区有轻微磨损但齿质点未暴露的牙齿标本,齿尖最高点定在磨损区的中心位置;将相机固定在翻拍架上,并用水平尺对镜头和翻拍架的底板进行水平校正,使两者都处于水平位置。为统一标准,拍照时,移动牙齿标本使得牙齿的釉质与齿质结合线(cervical line)围成的平面尽量处于水平位置,这样,牙齿基本处于解剖位置。每张牙齿照片附以精确到毫米的比例尺。为便于分析,本文只用右侧前臼齿。因为同一个体两侧牙齿形态特征的不对称性小^[21-22],为了增加标本数,当右侧牙齿严重磨损或消失时,用 ACDsee 将左侧牙齿镜像为右侧牙齿。

2.3 邻接面磨耗的复原

为减少邻接面轻微磨耗对数据采集和分析的影响,使用 AutoCAD 根据磨耗面的颊舌方向上的延伸程度和整个的齿冠形状进行复原^[4-5,16,18]。

2.4 几何形态测量分析方法

标志点 (landmarks): 标志点是位于物体表面的相类似的位点,这些标志点相对于其他标志点来说不改变对象拓扑位置;对物体表面形态能够足够的覆盖;能够重复且稳定的出现在物体表面;且位于同一平面内。此外,标志点的选择需要根据它们在评估形态变异的有用性和鉴别定位的易操作性来选择^[8]。生物体标志点一般是标志性的解剖位置。基于以上标准,并参照 Gómez-Robles 和 Martínón-Torres 的研究^[4-5] 本文在 P^1 、 P^2 、 P_1 咬合面表面分别确定四个标志点(图 1):(1)颊侧尖最高点;(2)前凹或者近中颊侧沟与中央沟交界处;(3)舌侧尖最高点;(4)后凹或者远中颊侧沟与中央沟交界处。在 P_2 咬合面表面定义四个标志点(图 1):(1)颊侧尖最高点;(2)前凹或者近中颊侧沟与中央沟交界处;(3)近中舌侧尖或后尖最高点;(4)后凹或者远中颊侧沟与中央沟交界处。在部分 P_1 中,中央沟消失,这时(2)(4)两个标志点定位在近中三角窝和远中三角窝的最深点处^[4]。TpsDig^[23] 软件用于收集标志点的坐标信息。

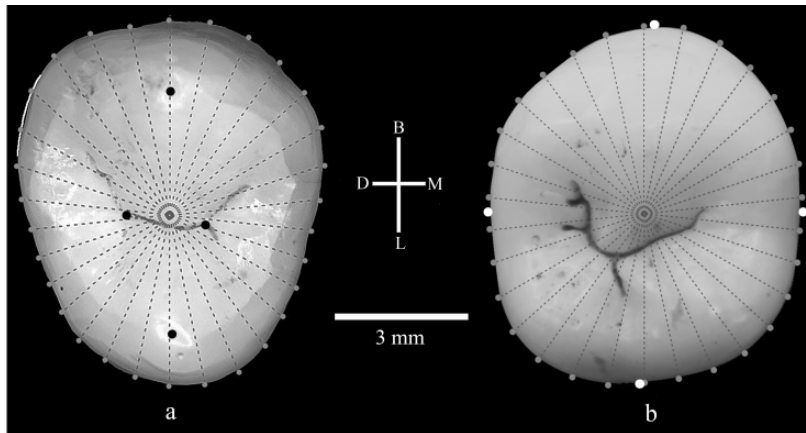


图 1 几何形态测量在上、下颌前臼齿咬合面确定的标志点(a:黑点;b:白点)和半标志点(灰色)

Fig. 1 Landmarks (a: black points;b: white points) and semilandmarks (grey points) located on the occlusal surfaces of maxillary and mandibular premolars during the geometric morphometric analysis

注:a: P^1 ; b: P_2

半标志点 (semilandmarks): 半标志点是由 Bookstein 提出用于研究缺少真正标志点的形状,比如说牙齿的外轮廓^[13,15,24]。然而,半标志点在轮廓线上的分布带有一定的任意性,使得它的作用受到限制,一种称为滑动的技术 (Sliding landmarks) 被用来解决这一问题。滑动技术能够使得半标志点沿着曲线滑动以减少参照形状与单个形状之间变形所需要的能量^[13,15,25],或者是减少对应标志点之间的 P 距离^[26] (Procrustes distance),从而使形状之间的对应半标志点尽量吻合^[15]。经过滑动技术处理后的半标志点也成为滑动半标志点 (sliding landmarks), 本文将采用后一种滑动方法。参照有关研究^[4,17-18], 本文在上颌前臼齿咬合面上,利用在“标志点”部分定义的四个标志点位基础,确定一个质点(又被称为中央

点或重心点 Centroid) 从该质点放射出 30 条线, 它们与齿冠基底面的交点处即为 30 个半标志点。由于在下颌前臼齿咬合面上, “标志点”部分定义的四个标志点比上颌前臼齿靠近舌侧, 所以为避免半标志点在舌侧过度集中, 本文将采取另外四个标志点来定义质点 (Centroid), 分别为: 齿冠基底面的最颊侧、最远中、最舌侧、最近中^[17-18]。MakeFan6 软件用来完成这些操作^[27]。TpsDig^[23] 软件在随后的分析中用来采集半标志点的坐标数据。

GPA (Generalized Procrustes Analysis): 基于标志点的几何形态测量依赖于二维或者三维坐标点对所研究对象的原始形状进行复原并描述其变异, 然而标本的摆放位置、趋向、尺寸等这些非形状因素通过影响坐标点数据而影响不同对象之间形状的比较, 所以要想客观而准确的展示几何形状的差异, 这些非形状的因素必须剔除。几种样本叠合方法 (Superimposition) 的方法通过对不同标本的平移、旋转、校正而尽量缩小对象之间标志点所围成的原始形状的差异解决了这一问题。其中, 应用最广泛的是 GPA, 因为该方法缩小对象形状差异时所采用的标准是 Procrustes distance (所研究对象上对应标志点之间距离的平方和), 而该距离是对不同生物结构之间形状差别的一个有力描述。GPA 具体步骤为: 从各个标志点的坐标数据中减去质点 (它是所研究对象轮廓的重心点, 也是组成该轮廓的所有标志点坐标的平均值点) 坐标数据, 这样可以将各个质点定义到原点, 而其他坐标点围绕在该质点周围, 消除位置对性状比较的影响; 每个轮廓的每个标志点坐标除以该轮廓的 CS 值 (Centriod size—所研究对象轮廓上每个标志点到质点的距离平方和再开方) 这样将标志点所围成的轮廓校正到单位 CS 值大小, 消除了大小对形状的影响; 选择一个轮廓形状作为参照, 旋转另外一个轮廓形状, 使得两个轮廓上对应标志点之间距离的平方和最小化, 以此来消除摆放造成的非形状差异^[8]。样本叠合 (Superimposition) 后, 物体间对应标志点之间的差别就可以被用来描述形状差异, 这些差别可以在随后的多变量统计分析中作为初始数据^[13]。在 GPA 中, 会产生一个所研究样本组的平均图形, 该图形可以在对比单个样本标志点所围成的轮廓时作为参照。总的看来, GPA 的结构是一个标志点所围成的平均图形, 每个标志点周围散布着来自各个样本的对应标志点^[4-5, 8, 28]。

TPS (Thin Plate Spline): 各种形状坐标虽然能够反映不同形状之间的差别, 但是不能够描述不同形状之间的变形, 即不能够告诉我们不同标志点之间或者不同物体之间是怎么变化的。而 TPS 可以通过变形网格将一个形状向另外一个形状变化的具体细节可视化, 于是, 不同形状之间的变化可以通过描述物体的网格的变形来反映^[8]。两个特定物体之间或者一个物体与平均图形之间的变形可以分解为统一和非统一两个成分。在两维空间里有六种统一成分, 前四个是在 GPA 部分提到的非形状变量, 分别是沿着 X 和 Y 轴的平移、校正、及旋转, 他们不改变形状, 而另外两个成分—压缩或扩展/修剪—能够改变形状, 但是在反映形状变化时不改变变形网格线的曲度, 使得网格线之间始终保持平行, 这在非统一成分方面是不一样的, 因为后者能够反映形状内部的相对变化, 所以在变形时网格线被扭曲。这样就使得非统一成分需要弯曲能量, 这种能量能够衍生出一组描述形状变化的非常有效的参数—部分扭曲值 (Partial warp scores), 它可以在比较不同物体之间形状差异的统计分析中用作形状变量^[14]。而相关的一个方法就是相对弯曲分析 (Relative warp analysis), 该值对应于部分扭曲值的主成分分析^[14], 可以将总的变量数降低至几个主要的独立变量, 这几个独立变量可以概括一个样本组的主要变异^[29]。TpsRelw 软件用来完成这些操作^[30]。

异速生长 (Allometry): 本文所涉及到的异速生长是对形状和形状大小关系的一个研究,

牙齿大小对形状是否有影响,影响多大,本文将采取形状变形是所需要的统一和非统一成相对于 CS 值的多变量回归分析对这些问题进行探讨^[4]。CS 值定义为形状各标志点到质点的距离平方和再开方,能够反映形状的大小^[8]。伴随着多变量回归分析,要进行序列检验($n = 1000$),以检测异速生长的程度大小,TpsRegr 软件用来完成这些操作^[31]。

2.5 聚类分析

为进一步了解上颌两颗前臼齿以及下颌两颗前臼齿的形状差异和相似程度,采用 SPSS 13.0 软件分别对上颌前臼齿的样本组和下颌前臼齿的样本组经 TPS 分析后所得出的相对弯曲值(Relative warp analysis)进行聚类分析,试图对上颌前臼齿和下颌前臼齿齿冠轮廓形状进行分类。在此基础上,检验上颌和下颌两颗前臼齿齿冠轮廓形状各自在这些类别中的分布情况。

同时,对单颗前臼齿进行 TPS 分析后,所得的相对弯曲值用于 Q 型聚类分析和多次快速聚类分析,以分析上、下颌两颗前臼齿各自齿冠轮廓形状的变异,并试图区分出各前臼齿轮廓形状可能存在的变异类型。最后采用 TpsRelw^[30]软件计算出分类后的平均图形。

3 结果

3.1 上、下颌前臼齿齿冠外轮廓和内轮廓形状

图 2 展示了由 4 个标志点和 30 个半标志点勾画的齿冠外轮廓及内轮廓(齿尖夹角区)在本文研究的全部前臼齿的分布情况。图中的每个点代表咬合面上的一个标志点或半标志点,每一组点是全部标本某一对应标志点的集合。所有 30 个半标志点的组合大致构成该前臼齿齿冠平均外轮廓形状。同样,所有 4 个标志点的组合构成了该前臼齿咬合面平均内轮廓形状。从图 2 可以看出, P^1 齿冠呈颊侧部分隆起宽阔,舌侧部分平直内收的对称形状。颊侧部分各半标志点组中半标志点的分布较舌侧部分各半标志点组的分布范围稍大,提示齿冠轮廓颊侧部分变异较舌侧部分大。由四个标志点连线构成的齿尖夹角区大致位于齿冠咬合面的中央,呈不规则狭长菱形,舌侧尖略向近中侧偏移。四个标志点组中的舌侧尖点、前凹点、后凹点中各标志点的分布范围大致呈圆形并且集中分布,而颊侧尖的各标志点组分布范围较分散,大致呈颊舌方向分布的线条形。与 P^1 相比, P^2 齿冠外轮廓整体更为对称,仅仅在齿冠颊侧部分相对舌侧稍微向近远中方向突出。除个别颊侧半标志点组中的各半标志点分布略分散外,大多数标志点组的分布范围均比较接近。齿尖夹角区位于齿冠咬合面的中央,呈不规则狭长菱形,舌侧尖略向近中方向偏移。四个标志点中的舌侧尖、前凹点、后凹点分布范围呈圆形且集中分布,而颊侧尖的标志点沿颊舌径方向呈直线型分布。

P_1 外轮廓形状近似对称的圆形,仅近中舌侧和远中颊侧稍内缩,使该处外轮廓线略呈直线状;外轮廓线上的半标志点组除远中颊侧部分几个半标志点分布较集中外,其他标志点组分布分散。齿尖夹角区位置靠近近中舌侧,大致呈方形;四个标志点中,代表舌侧尖的半标志分布最为散乱,且沿着远中舌侧到近中颊侧方向分布;前凹点的半标志点的分布范围相对于后凹点略小,后凹点有沿着近中舌侧到远中颊侧方向的分布趋势;颊侧尖沿颊舌径方向上呈线条分布。四个标志点组的这种分布特点说明 P_1 齿冠内轮廓形状具有明显的内部变异。 P_2 齿冠外轮廓形状与 P_1 外轮廓形状相似,呈规则的卵圆形;外轮廓颊侧近、远中部分的几个半标志点的分布相对集中,其他半标志点分布稍微散乱且分布范围一致。齿尖夹角

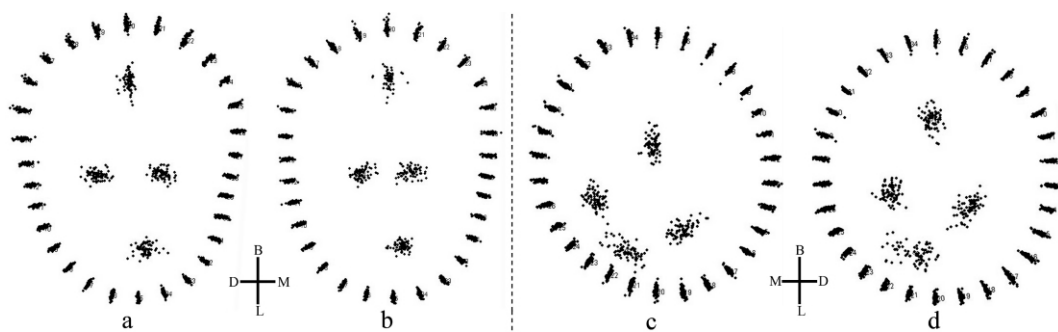


图 2 由 4 个标志点和 30 个半标志点构成的前臼齿齿冠内外轮廓

Fig. 2 Outer and inner contour of premolars crown represented by 30 semilandmarks and 4 landmarks of all specimens

(注:a:P¹;b:P²;c:P₁;d:P₂)

区大致位于齿冠咬合面的中央;由于近舌侧尖向近中方向偏移,四个标志点的连线呈不规则的菱形;四个标志点中,舌侧尖标志点最为分散,后凹点分布范围比前凹点的分布范围大,且沿有沿着近中舌侧和远中颊侧方向上的分布趋势;颊侧尖分布同下颌第一前臼齿,也有沿着颊舌径方向上的直线型分布趋势。P₂ 四个标志点组的分布特点说明其齿冠内轮廓形状也具有一定的内部变异。

3.3 上、下颌前臼齿几何形态测量主成分分析图

图 3 展示了基于 4 个标志点和 30 个半标志点数据对上颌前臼齿进行主成分分析各样本根据前两个主成分所得出的二维分布结果。PC1 和 PC2 分别能够解释齿冠几何形态变异的 26.99% 和 14.17%。沿着 PC1 正值分布的标本齿冠外轮廓呈颊侧于舌侧宽度接近的对称形状。齿尖夹角区呈不规则狭长菱形,整体向颊侧靠近。舌侧尖向近中方向偏移,前凹后凹点相互之间靠近。分布在 PC1 负值的标本齿冠外轮廓呈现颊侧宽,舌侧窄的大致对称形状。外轮廓的近中部分大约相当于近中边缘沟(Mesial marginal groove)的位置略微内陷。齿尖夹角区呈略不规则的菱形,整体稍微靠近舌侧。舌侧尖向近中方向偏移,前凹点和后凹点相互之间分离。分布在 PC2 正值范围内的标本齿冠外轮廓呈狭长的对称形状,颊侧部分略突出。齿尖夹角区位于咬合面中央,呈不规则的狭长菱形。舌侧尖向近中方向上偏移,前凹点和后凹点相互靠近。分布在 PC2 负值范围的标本齿冠外轮廓呈颊侧宽,舌侧窄的卵圆形,形状基本对称。齿尖夹角区位于齿冠咬合面中央,呈不规则菱形。舌侧尖向近中方向偏移,四个标志点相互分离。

本文分析的上颌前臼齿在图 3 的分布比较集中,P¹ 和 P² 的分布范围有很大重叠,但以 PC2 仍能将两者大致分开。P¹ 主要分布在 PC1 负值范围内,P² 主要分布在 PC1 的正值范围内。以 PC2 轴为界限,P¹ 进入 PC1 正值范围 13 例,占 P¹ 总数的 18.1%,P² 进入 PC1 负值范围 14 例,占 P² 总数的 19.4%。P¹ 在 PC1 轴上下的分布例数基本一致,P² 的分布范围也表现出类似特点。P¹ 和 P² 的整体分布范围大小接近。

图 4 展示了下颌前臼齿几何形态测量主成分分析结果,PC1 和 PC2 分别代表了齿冠形状变异的 45.28% 和 17.75%。从图 4 可以看出,沿 PC1 正值分布的标本齿冠外轮廓呈对称的卵圆形,仅远中舌侧部分稍微内缩。齿尖夹角区位于咬合面中央,呈不规则狭长菱形。前

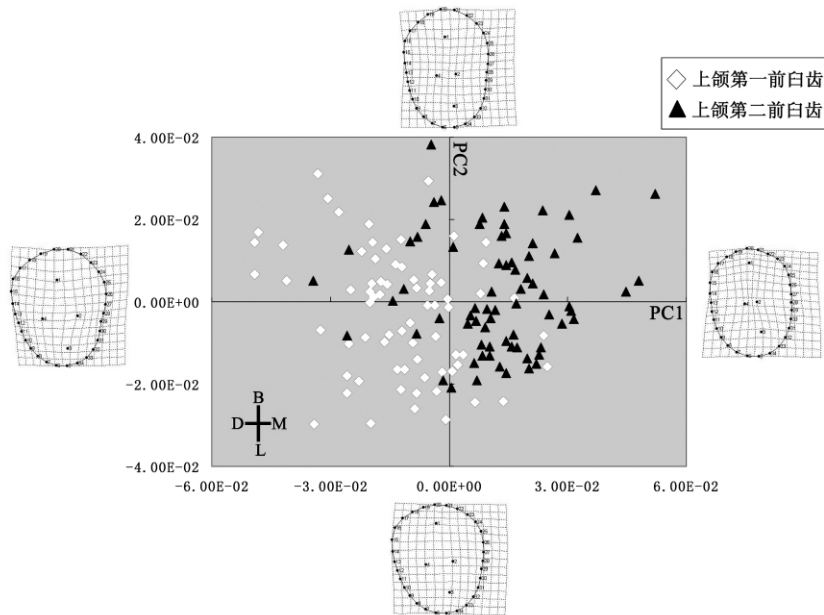


图3 上颌前臼齿几何形态测量

Fig. 3 Geometric Morphometric of maxillary premolars

注: 每个点代表一个个体, 四个网格图分别代表坐标轴四个端点处的几何形状, 以表示个体变异的趋势 (Individual P^1 or P^2 were projected on this coordinate, TPS-grids showed at each end of the PC1 and PC2 axis illustrate the transformation trends of shape along each principal component)

凹点和后凹点靠近。PC2 负值范围内的标本齿冠外轮廓不对称, 主要表现在近中舌侧部分内缩使该部分外轮廓呈直线状。齿尖夹角区靠近近中舌侧, 大致呈方形。前凹与后凹点相互分离, 且不在同一水平线上。位于 PC2 正值范围内的标本齿冠外轮廓较对称, 颊舌径明显大于近远中径; 齿尖夹角区偏向近中侧, 呈不规则菱形。颊侧尖略偏离其它标志点, 舌侧尖向近中舌侧偏移程度最大, 前凹后凹点不在同一水平面上。沿 PC2 负值分布的标本齿冠外轮廓也较对称, 但颊舌径和近远中径接近, 使得齿冠轮廓大致呈圆形。齿尖夹角区靠近舌侧, 略呈方形。

本文用到的下颌前臼齿分布较为分散, P_1 和 P_2 区别明显, 基本以 PC2 轴为界分开, P_1 位于 PC1 负值范围内, P_2 分布在 PC1 正值范围内, 两者之间很少有重叠, P_1 进入到 PC1 正值分布范围内的只有一例, 而 P_2 进入 PC1 负值范围内也只有 4 例。 P_1 和 P_2 在 PC1 轴的上下分布数量基本一致, 其中第二前臼齿在 PC1 轴以下分布比较集中, 而在 PC1 轴上分布较为分散。下颌第一、第二前臼齿的分布范围大小接近。

3.3 上、下颌样本组的聚类分析

图 5 为上颌前臼齿样本组的形状参数经聚类分析后所得的两类平均图形。第一类图形主要有 P^1 组成, 也包括 14 例 P^2 , 占到 P^1 总数的 19.44%。第二类主要由 P^2 组成, 包括 12 例 P^1 , 占到 P^1 总数的 16.67%。总的来讲, 有 26 例上颌前臼齿标本不能分清属于 P^1 或 P^2 , 占到所有上颌前臼齿总数 18.06%。包含在第二类中的 P^1 主要由于轮廓颊侧部分不突出、齿尖夹角区的前凹点和后凹点距离较近造成的。从上图中可以看出, 两类的主要差别在外

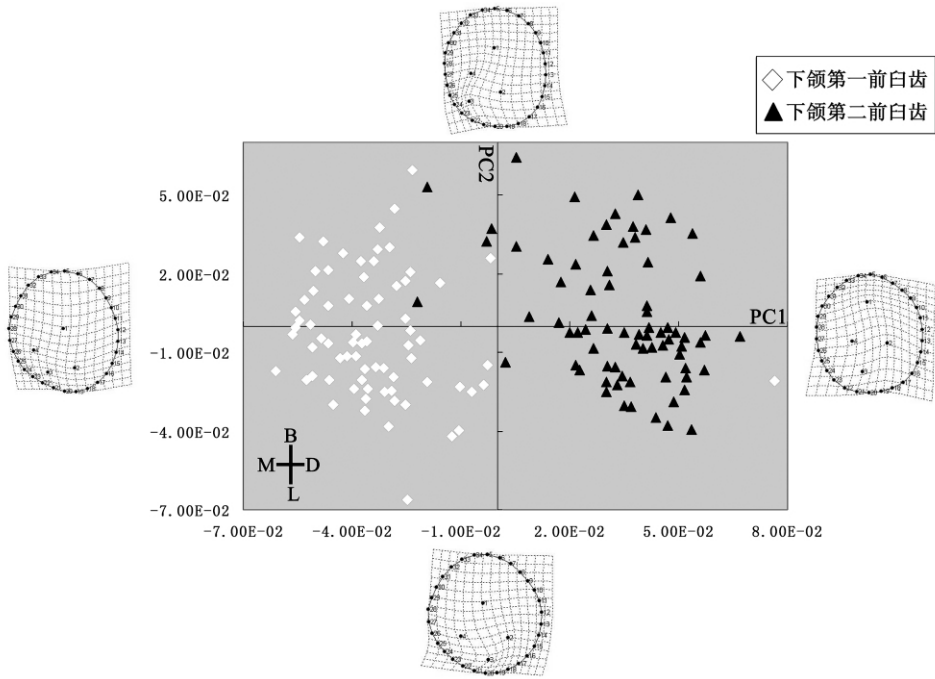


图 4 下颌前臼齿几何形态测量

Fig. 4 Geometric Morphometric of mandibular premolars

注:每个点代表一个个体 四个网格图分别代表坐标轴四个端点处的几何形状,以标示个体变异的趋势 (Individual P_1 or P_2 were projected on this coordinate, TPS-grids showed at each end of the PC1 and PC2 axis illustrate the transformation trends of shape along each principal component)

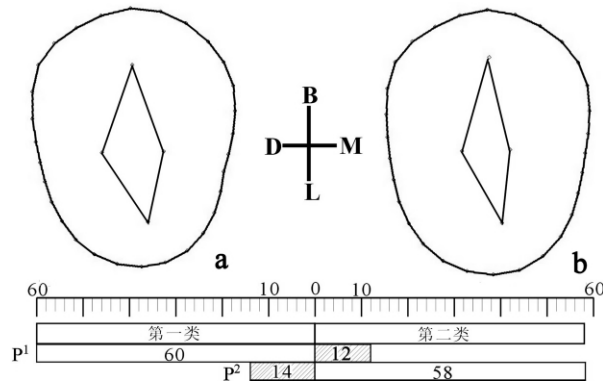


图 5 上颌前臼齿样本组的聚类分析

Fig. 5 Cluster analysis of all maxillary premolars

注:a:第一类的平均图形(mean shape of type 1);b:第二类的平均图形(mean shape of type 2);图中阴影代表难以区分的 P^1 或 P^2 (The shadow here illustrates the number of P^1 or P^2 hard to discriminate)

轮廓和内轮廓上皆有体现。其中第一类的外轮廓基本对称,颊侧部分向近远中方向突出,尤其是近中方向上;第二类的轮廓整体看来比较对称,颊侧部分也稍微突出,包括进去的 P^1 可能对此能够做出部分解释。内轮廓,即齿尖夹角区的差别主要体现在第一类的前凹点和后

凹点相互之间的距离相对于第二类大,第二类的齿尖夹角区显得比第一类狭长。以上所述与平均散点图和 PCA 分析所得结论一致。

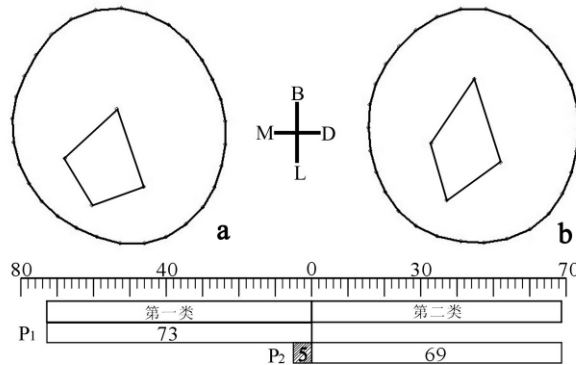


图 6 下颌前臼齿样本组的聚类分析

Fig. 6 Cluster analysis of all mandibular premolars

注: a:第一类的平均图形(mean shape of type 1); b:第二类的平均图形(mean shape of type 2);图中阴影代表难以区分的 P₁ 或 P₂ (The shadow here illustrates the number of P₁ or P₂ hard to discriminate)

如图 5 ,图 6 展示了下颌前臼齿的形状参数经过聚类分析后所得出的两类平均图形。结果显示 P₁ 和 P₂ 之间的重叠范围比较小,这在 PCA 部分已经体现出。第一类主要由 P₁ 组成,包括 5 例 P₂,占到 P₂ 总数的 6.76%。总的来讲,下颌前臼齿中有 5 例标本不能够靠内外轮廓的形状区分开来,只占有下颌前臼齿总数的 3.40%。造成这种重叠的原因主要是由于这些 P₂ 的颊舌径相对于近远中径缩小或者齿冠舌侧部分不对称造成的。第二类主要由 P₂ 组成,只包括一例 P₁。两种类型的差别主要体现了 P₁ 和 P₂ 的形状差别,在外轮廓上,第一类的齿冠颊舌径和近远中径相当,近中舌侧部分内缩使得整个轮廓看起来不对称;第二类的外轮廓基本呈卵圆形。第一类的齿尖夹角区近似方形,整体靠近近中舌侧;第二类的齿尖夹角区呈菱形,整体靠近齿冠中央。以上所得结论与平均散点图和 PCA 分析所得结果一致。

3.4 上、下颌前臼齿齿冠轮廓形状变异与分类

以上对上、下前臼齿齿冠咬合面标志点、半标志点以及 PCA 分析的结果显示上、下前臼齿齿冠内、外轮廓形状在本文研究的标本内部存在不同程度的变异。为进一步深入研究这些变异,本文采用聚类分析对相关数据进行了分析,将 P¹ 和 P² 分为两类,将 P₁ 和 P₂ 分为三类。为直观展示并比较各类别的平均图形,并考虑到上颌前臼齿的舌侧侧变异比较小,下颌前臼齿颊侧变异相对较小等因素, P¹ 和 P² 各自的不同类别之间在比较时,以尽量重叠舌侧五个半标志点为原则, P₁ 和 P₂ 各自的不同类别之间进行比较时,以尽量重叠颊侧的五个半标志点为原则,结果如图 7、8。

图 7 显示 P¹ 第一类和第二类齿冠轮廓形状的差别主要集中在颊侧,第二类牙齿齿冠颊侧齿外轮廓突出,与颊侧尖的距离明显大于第一类。齿尖夹角区的形状在这二类牙齿间很相似。这两类齿冠形状分别占本文研究的 P¹ 总数的 65.3% 和 34.7%。P² 第一类和第二类齿冠轮廓分别占 P² 总数的 44.4% 和 55.6%。从图中直观的看,第二类远中部分内缩,近中颊侧部分突出,使得整个齿冠看起来较第一类明显的对称。此外,齿尖夹角区的形状在两

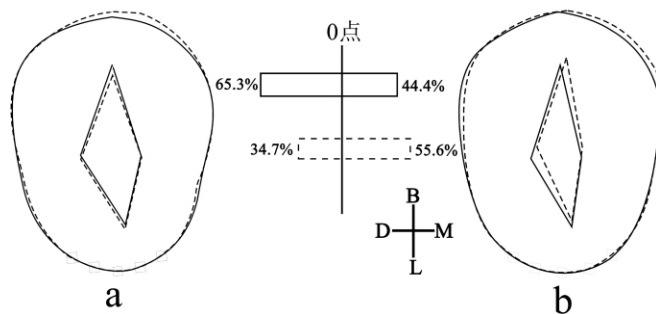


图 7 上颌前臼齿的两类齿冠轮廓形状及其在本文标本的出现率

Fig. 7 The mean shape of each of the two types of P¹ and P² respectively , and their rates

注：a:P¹ ;b:P² ;中央竖线代表 0 点 ,实线代表第一类形状 ,虚线代表第二类形状 (Solid line:type 1; Dash line:type 2)

类 P² 差别较明显 ,第一类牙齿的前凹点和后凹点之间的距离比第二类相应距离要大些 (见图 8)。

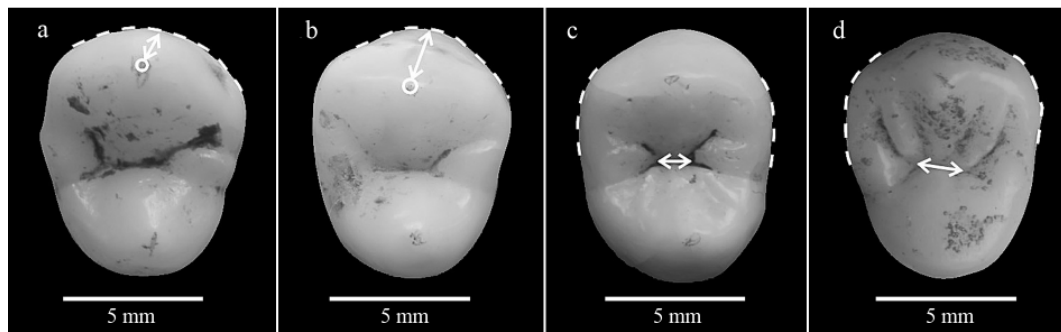


图 8 上颌前臼齿分类

Fig. 8 Corresponding each of the two types of P¹ and P² illustrated in the figure 7 respectively

注：a:P¹ 示其分类第一种类型 (Type 1 of P¹) ;b: P¹ 示其分类第二种类型 (Type 2 of P¹) ;c:P² 示其分类第一种类型 (Type 1 of P²) ;d: P² 示其分类第二种类型 (Type 2 of P²)

图 9 显示 P₁ 第一、二、三类齿冠形状分别占本文研究牙齿的 43.8%、34.2%、22.0%。第一类齿冠颊舌径较大 ,齿冠轮廓由于近中舌侧的内缩而不对称 ;齿尖夹角区靠近近中舌侧。第二类齿冠颊舌径比第一类稍小 ,齿冠轮廓也不对称 ;齿尖夹角区也靠近舌侧 ,并向近中方向偏移 ,其中最为明显的是舌侧尖。第三类齿冠颊舌径较前两类明显缩小 ,基本与近远中径相等 ,齿冠轮廓不对称 ;齿尖夹角区在齿冠咬合面的相对位置与第一类接近。P₂ 第一、二、三类齿冠形状分别占标本总数的 33.8%、36.55%和 29.7%。第一类齿冠颊舌径较其他两类小 ,齿冠轮廓对称 ;齿尖夹角区呈菱形 ,稍微不规则 ,靠近齿冠咬合面中央。第二类齿冠颊舌径较大 ,齿冠轮廓对称 ,齿尖夹角区呈不规则菱形。第三类齿冠颊舌径和对称性与第二类相当 ,主要差别在于齿尖夹角区 ,第三类的齿尖区四个标志点连线呈极不规则的菱形 ,主要是由于舌侧尖向近中方向的大幅度偏移 (见图 10)。

3.4 异速生长 (Allometry)

本文对形状变异的统一成分和非统一成分 (见方法部分 TPS) 与反映大小的 CS 值回归

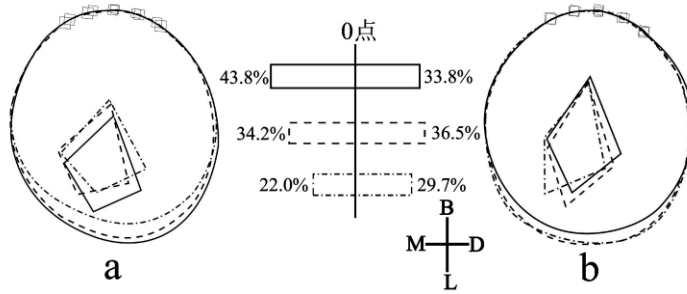


图 9 下颌前白齿的两类齿冠轮廓形状及其在本文标本的出现率

Fig. 9 The mean shape of each of the three types of P_1 and P_2 respectively , and their rates
 注:a: P_1 ;b: P_2 ; 中央竖线代表 0 点,实线代表第一类形状,虚线代表第二类形状,点线代表第三类形状 (Solid line: type 1; Dash line: type 2; Dash-dot: type 3)

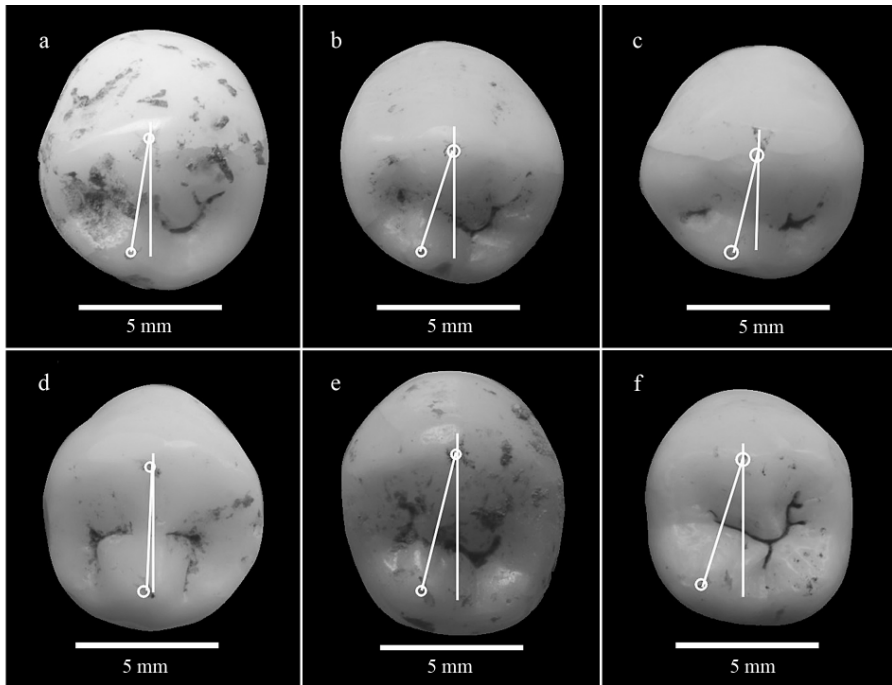


图 10 下颌前白齿分类

Fig. 10 Corresponding each of the three types of P_1 and P_2 illustrated in the figure 9 respectively
 (a: P_1 示其分类第一种类型 (Type 1 of P_1); b: P_1 示其分类第二种类型 (Type 2 of P_1); c: 示其分类第三种类型 (Type 3 of P_1); d: P_2 示其分类第一种类型 (Type 1 of P_2); e: P_2 示其分类第二种类型 (Type 2 of P_2); f: P_2 示其分类第三种类型 (Type 3 of P_2))

分析结果显示 P^1 和 P^2 大小分别能够解释各自形状变异的 1.48% 和 1%。从图 11 可以看出,两颗上前白齿形状随着 CS 的增加变化不大。齿尖夹角区四个标志点在 CS 值最大时有相互靠近的趋势,比较明显的是颊侧尖;齿冠轮廓颊侧部分向外突出的程度不如 CS 值小时明显。 P^2 的变化主要体现在近中侧的轮廓上,CS 最大时,此处有向内收的趋势,使得整个

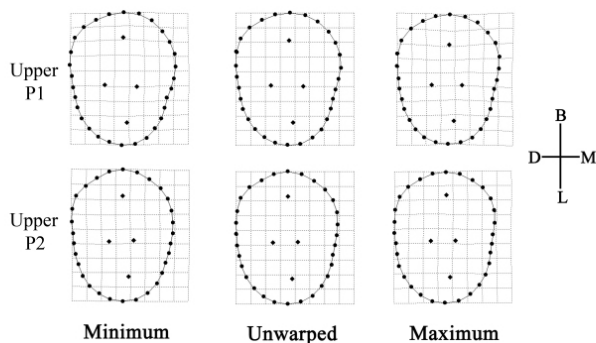


图 11 上颌前臼齿异速生长分析

Fig. 11 Allometric analysis of maxillary premolars

注: Minimum: CS 最小时 (lowest centroid size); Unwarped: CS 平均值时 (mean centroid size); Maximum: CS 最大时 (highest centroid size)

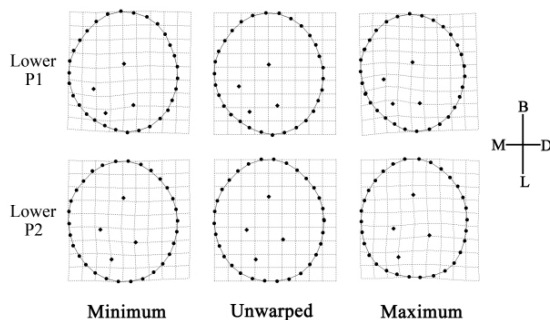


图 12 下颌前臼齿异速生长分析

Fig. 12 Allometric analysis of mandibular premolars

注: Minimum: CS 最小时 (lowest centroid size); Unwarped: CS 平均值时 (mean centroid size); Maximum: CS 最大时 (highest centroid size)

轮廓相对于 CS 最小时更加对称。图 12 展示了下颌前臼齿形状随齿冠大小变化的情况, P_1 和 P_2 尺寸大小分别能够解释各自形状变异的 2.85% 和 1.35%, 较上颌前臼齿稍大。随着 CS 值增大, P_1 齿尖夹角区前凹点和舌侧尖向近中颊侧偏移, 整个齿尖夹角区面积缩小; 靠近前凹点和舌侧尖处的外轮廓向远中颊侧方向稍微偏移, 使得整个轮廓相对于 CS 值最小时不对称。 P_2 的形状从 CS 值最小时的近似圆形变化到 CS 值最大时的卵圆形; 后凹点和舌侧尖相互分离, 前者向远中颊侧偏移, 后者向近中舌侧偏移。从表 2 中 CS 值大小来看, P^1 比 P^2 稍微大些; P_1 与 P_2 之间不管无论是从平均值, 还是最大最小值来看, 差别均不明显。

表 2 上、下颌前臼齿 CS 值

Tab. 2 Centroid size of maxillary and mandibular premolars used in the present study

牙齿类别	例数(N)	平均值	最小值	最大值
P^1	72	2.33	2.13	2.60
P^2	72	2.24	1.95	2.49
P_1	73	2.14	1.81	2.56
P_2	74	2.17	1.86	2.56

4 讨论

4.1 中国近代人群上、下颌前臼齿齿冠外轮廓及内轮廓形状

本文使用的标本来自河南浙川、湖北矿区考古遗址,上、下颌前臼齿共计 291 枚。这些标本的年代跨越新石器时代到明清时期,大致代表了黄河和长江中游地区近代人群。本文采用基于标志点和半标志点信息的几何形态测量方法对这些前臼齿齿冠外轮廓和内轮廓形状进行了分析。本文显示上颌两颗前臼齿形状之间具有明显的重叠区域,而下颌两颗前臼齿之间差别较明显。

从平均散点图和 PCA 来看, P^1 外轮廓整体比较对称,齿冠颊侧部分较舌侧明显向近远中方向突出, P^2 外轮廓也较对称,齿冠颊侧部分向近远中方向突出不如 P^1 明显,且只在部分 P^2 中出现。PCA 和聚类分析显示, P^1 和 P^2 有很大范围的重叠,该重叠区域包括的 P^1 颊侧部分向近远中突出程度较其他 P^1 弱,而在该范围的 P^2 颊侧部分轮廓向近远中方向突出程度较其他 P^2 强,这在对两者进行鉴别时容易产生错误,这时就需要考虑其他解剖特征。

至于齿冠内轮廓, P^1 的齿尖夹角区四个标志点连线成不规则狭长菱形;舌侧尖明显偏向近中侧;前凹点和后凹点相互之间分离距离较大。 P^2 的齿尖夹角区形状与 P^1 类似,但是前凹点和后凹点之间的距离相对于 P^3 该两点之间的距离明显减小,这也是 PCA 轴上区分 P^1 和 P^2 主要因素之一。此外, P^1 的齿尖区整体靠近舌侧,而 P^2 的齿尖夹角区整体靠近颊侧。PCA 轴上以及聚类分析中两者的重叠区域所包括的 P^3 前凹点和后凹点的距离较其他 P^1 小,而 P^2 前凹点和后凹点的距离较其他 P^2 大。

P_1 的轮廓近似圆形,近中舌侧部分内缩导致齿冠轮廓表现出不对称性,但在部分标本中齿冠轮廓是比较对称的,没有出现近中舌侧部分明显的内缩现象。 P_2 齿冠轮廓基本对称,呈卵圆形,其中几例标本由于颊舌径和近远中径相当而与 P_1 类似,但仍然可以靠其他解剖特征,如 P_2 具有明显的中央齿沟,而 P_1 相应的位置是常见一条明显的脊。此外,部分 P_2 的远中舌侧部分出现内缩现象,使得轮廓对称性减小,Martinón-Torres 指出,远中舌侧突出在南方古猿以及部分化石人类中表现得非常明显,属于原始性状,而现代人远中舌侧部分内缩正好与之相对,这不是一种进化趋势,有待进一步研究。

P_1 齿尖夹角区的四个标志点连线基本呈方形,明显靠近近中舌侧; P_2 齿尖夹角区靠近中央,部分个体标本近中舌侧尖偏向近中舌侧,使得整个齿尖区呈不规则的菱形,而造成这种偏移的原因可能是因为远中舌侧尖或者远中边缘脊在舌侧扩大而使得近中舌侧尖或者后尖向近中方向移动的缘故。

Gómez-Robles^[4]在研究更新世人类 P_1 时所提供的现代人对标标本的齿冠轮廓接近圆形,齿尖区靠近齿冠中央,这与本文所得出的结论有不一致性,分析认为这种结论的差别可能是由于研究对象造成的,Gómez-Robles 的研究主要侧重于古人类,而古人类的不对称性程度较大,这可能掩盖了现代人程度相对较小的不对称性,这也体现了对现代人专项研究的一个优越性。

Bailey^[16]在针对尼安德特人的 P_2 采用基于外轮廓数据的几何形态测量分析时所用到的现代人大致可以分为两类,一类是齿冠轮廓比较对称,另外一类的远中舌侧内缩而使得轮

廓稍微不对称,这与本文所得出的结论一致。Martinón-Torres^[5]分析更新世人类的 P_2 时认为,现代人 P_2 齿冠轮廓近似圆形,后尖向中央靠近,跟座减小。尽管本文所用到的标本表现出了近中舌侧尖或者后尖向中央靠近这一特征,但有很大一部分个体标本的后尖因为远中舌侧尖的出现而靠近近中侧,此外,现代人的齿冠应该更接近于卵圆形,且部分标本轮廓由于远中舌侧部分内缩而显得略微不对称。不同的研究对象可能是造成分析差别的主要原因。

4.2 上、下颌前臼齿齿冠形状变异与分类

从平均图形散点图可以看出, P^1 的齿冠轮廓颊侧部分半标志点比较分散,而舌侧部分半标志点分布较集中,显示颊侧部分变异较舌侧大。从 PCA 分析来看, P^1 沿着 PC1 和 PC2 轴方向上都有不同程度的分散,显示外轮廓的变异集中在颊舌径与近远中径的比例大小、齿冠颊侧部分向近远中的扩展程度上。至于齿尖夹角区,颊侧尖分布较散,且呈线条型分布,代表从齿冠中央到齿冠边缘的连续变异。而齿尖区相对面积也因此会表现出缩小趋势。以前的工作认为齿尖区的相对面积增大是一种进化趋势^[9],所以这里的连续变异可以被认为是一种微观上的连续进化状态。此外,齿尖夹角区四点连线组成的夹角以及前凹点和后凹点也都表现出不同程度的变异。运用聚类分析时,划分的两种类型主要区别在于颊侧尖和邻近颊侧齿冠基底边缘的距离上,这与平均散点图所表现出来的颊侧和颊侧尖变异较大这一现象相一致。

P^2 的平均图形散点图、PCA 分析以及聚类分析显示其变异特征与上颌第一前臼齿接近,在这里不再讨论。

从 PCA 分析来看, P_1 齿冠轮廓变异主要表现在齿冠颊舌径和近远中径的大小比例和齿冠近中舌侧和远中舌侧的突出和内缩程度上。齿尖夹角区的变异主要集中在舌侧尖和后凹点的位置上,这从平均散点图和 PCA 分析中都能够看出。此外,颊侧尖也表现类似于上颌前臼齿的直线连续变异趋势。聚类分析时参考的标准主要集中在齿冠的颊舌径大小比例以及舌侧尖和后凹点的位置上。

P_2 的外轮廓变异同 P_1 , 主要表现齿冠颊舌径和近远中径的比例大小差别以及近中舌侧和远中舌侧的突出或内缩程度上。 P_2 沿着 PC1 轴的分布范围较 P_1 大,显示其齿尖区的舌侧尖和后凹点的位置、齿尖夹角区四点连线组成的角变异较明显以及齿尖夹角区在齿冠的位置存在不同程度大小的差异。聚类分析显示三种类型的主要差别集中在齿冠颊舌径和近远中径的大小比例关系、齿尖夹角区,尤其是舌侧尖和后凹点的位置上方面。

至于上颌和下颌前臼齿之间变异谁大谁小,本文没有进行专门的 PCA 分析,但从平均散点图、各自的 PCA 分析情况来推断上颌前臼齿几何形状相对于下颌前臼齿来说要稳定,这也正是在聚类分析时将上颌前臼齿分为两类,而将下颌前臼齿分为三类的主要原因。上下颌前臼齿之间的变异表现出某些相似性,比如说颊侧尖分布的走向,基本沿着齿冠内外呈线条型分布。此外,从平均图形散点图来看,上颌前臼齿齿冠轮廓舌侧部分似乎比颊侧更为稳定,而下颌前臼齿表现出相反的趋势,颊侧部分似乎比舌侧更为稳定,这个问题将在未来的研究工作中通过进一步计算所涉及点的变异大小来进一步探讨。

以上所提到的变异位置都可能是在人类前臼齿中演化比较活跃的地方,这对将来研究古人类具有指导性的意义。至于变异原因仍需进一步研究来提出合理解释,但猜测跟人类的演化以及不同人群之间的融合有关。

4.3 异速生长

上、下颌四颗前臼齿几何形状随着尺寸的变化没有表现出明显的变化。 P^1 随着 CS 值的增大, 齿尖区有内缩的趋势, 相对面积也就因此而减小。由于牙齿尺寸的进化趋势是从大到小^[32], 所以尺寸大的 P^1 应该比尺寸小的原始一些, 再考虑到上颌第一臼齿齿尖区的相对面积进化趋势是由小到大^[9], 所以认为尺寸大, 且齿尖区相对面积小的 P^1 是本文所用到的个体标本中较原始的类型。 P^1 的异速生长趋势不是很明显, 所以在这里不再讨论。

至于 P_1 , 齿冠轮廓形状随着 CS 值的增大, 更加趋向于不对称, 且前凹点和舌侧尖点向近中颊侧偏移, 考虑到牙齿尺寸、齿冠轮廓对称性^[4] (由不对称性到对称性) 的进化趋势, 认为 CS 大的个体标本不仅保留了尺寸大这个原始特性, 还保留了齿冠轮廓的不对称性这种原始特性。而 P_2 CS 值最大时的个体标本齿冠轮廓近似于卵圆形, 齿冠舌侧部平直且对称, 这相对于古人类来说, 是一种进化的状态^[5], 但当联系到牙齿尺寸进化的趋势时, 认为 CS 值最小时的齿冠轮廓更应该是进化的, 此时齿冠轮廓近似圆形, 齿冠舌侧部分轮廓圆滑, 相对于 CS 最大时来说, 近中舌侧和远中舌侧有向内收的趋势。

致谢: 本文数据分析及相关软件使用得到美国纽约州立大学 Stony Brook 分校 Rohlf 教授和西班牙国家人类演化研究中心 Gómez-Robles 博士的帮助。在此表示诚挚的谢意!

参考文献:

- [1] 刘武. 中国第四纪人类牙齿大小的演化及其意义[J]. 第四纪研究, 1999, 2:127-138.
- [2] Turner CG. Microevolutionary interpretations from the dentition[J]. Am J of Phys Anthropol, 1969, 30:421-426.
- [3] Bailey SE. Dental morphological affinities among late Pleistocene and recent humans[J]. Dental Anthropology, 2000, 14:1-8.
- [4] Gómez-Robles A, Martínón-Torres M, Bermúdez de Castro J M, et al. Geometric morphometric analysis of the crown morphology of the lower first premolar of hominins, with special attention to Pleistocene Homo[J]. J Hum Evol, 2008, 55: 627-638.
- [5] Martínón-Torres M, Bastir M, Bermúdez de Castro J M, et al. Hominin lower second Premolar morphology: evolutionary inferences through geometric morphometric analysis[J]. J Hum Evol, 2006, 50: 523-533.
- [6] Tuner CG, Nichol CR, Scott GR. Scoring procedures for key morphological traits of the permanent dentition: the Arizona State University Dental Anthropology System[A]. In: Kelley M, Larsen C (eds.), Advances in Dental Anthropology. New York: Wiley Liss, 13-31.
- [7] 邢松, 刘武. 中国人牙齿形态测量分析——华北近代人群臼齿齿冠及齿尖面积[J]. 人类学学报, 2009, 28(2): 179-191.
- [8] Zelditch ML, Swiderski DL, Sheets HD, Fink WL. Geometric Morphometrics for Biologists: A Primer[M]. San Diego: Elsevier Academic Press, 2004.
- [9] Bailey SE. A morphometric analysis of maxillary molar crowns of Middle-Late Pleistocene hominins[J]. J Hum Evol, 2004, 47:183-198.
- [10] Slice DE. Geometric morphometrics[J]. Annual Review of Anthropology, 2007, 36:261-281.
- [11] Adams DC, Rohlf F J and Slice D E. Geometric morphometrics: ten years of progress following the 'Revolution' [J]. Italian Journal of Zoology, 2004, 71:5-16.
- [12] Yamada H, Brown T. Contours of Maxillary Molars Studied in Australian Aborigines[J]. Am J of Phys Anthropol, 1988, 76: 399-407.
- [13] Bookstein FL. Applying landmark methods to biological outline data. In: Mardia, K. V., Gill, C. A., Dryden, I. L. (Eds.), Image Fusion and Shape Variability Techniques[M]. Leeds: Leeds University Press, 1996b.

- [14] Bookstein FL. Morphometric Tools for Landmark Data[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [15] Bookstein FL. Landmark methods for forms without landmarks: morphometrics of group differences in outline shape[J]. *Med Image Anal*, 1997, 1: 225-243.
- [16] Bailey SE, Lynch J M. Diagnostic differences in mandibular P4 shape between Neandertals and anatomically modern humans[J]. *Am J of Phys Anthropol*, 2005, 126(3): 268-277.
- [17] Biggerstaff RH. The basal area of posterior tooth crown components: the assessment of within tooth variation of premolars and molars. *Am J of Phys Anthropol*, 1969, 31: 163-170.
- [18] Wood BA, Uytterschaut H. Analysis of the dental morphology of Plio-Pleistocene hominins. III. Mandibular premolar crowns[J]. *J Anat*, 1987, 154: 121 - 156.
- [19] Bailey SE. A closer look at Neanderthal postcanine dental morphology: the mandibular dentition[J]. *Anat Rec New Anat*. 2002a, 269: 148-156.
- [20] Wood BA, Engleman CA. Analysis of the dental morphology of Plio-Pleistocene hominids: V. Maxillary postcanine tooth morphology[J]. *J Anat*, 1988, 161: 1-35.
- [21] Trinkaus E. Bilateral asymmetry of human skeletal nonmetric traits[J]. *Am J Phys Anthropol*, 1978, 49: 315-318. -
- [22] Scott GR, Turner II, CG. The Anthropology of Modern Human Teeth: Dental Morphology and its Variation in Recent Human Populations[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1997.
- [23] Rohlf FJ. TpsDig. Ecology and Evolution, SUNY. Stony Brook, New York. 1998, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.
- [24] Bookstein FL, Schafer K, Prossinger H, *et al.* Comparing frontal cranial profiles in archaic and modern Homo by morphometric analysis[J]. *Anat Rec New Anat*, 1999, 257: 217-224.
- [25] Sheets HD, Keonho K, Mitchell CE. A combined landmark and outlinebased approach to ontogenetic shape change in the Ordovician Trilobite *Triarthrus becki*. In: Elewa, A. (Ed.), *Applications of Morphometrics in Paleontology and Biology*. New York: Springer, 2004, 67-81.
- [26] Sampson PD, Bookstein FL, Sheehan H, Bolson EL. Eigenshape analysis of left ventricular outlines from contrast ventriculograms[A]. In: Marcus, L. F., Corti, M., Loy, A., Naylor, G. J. P., Slice, D. E. (Eds.), *Advances in Morphometrics*. Plenum, New York, 1996, 131-152.
- [27] Sheets HD. Imp, integrated morphometric package. 2001, <http://www.canisius.edu/~sheets/morphsoft.html>.
- [28] Rohlf FJ, Slice D. Extensions of the Procrustes method for the optimal superimposition of landmarks[J]. *Syst Zool*, 1990, 39: 40-59.
- [29] Frieß M. An application of the relative warps analysis to problems in human paleontology-with notes on raw data quality[J]. *Image Anal Stereol*, 22: 63-72.
- [30] Rohlf FJ. TpsRelw. Ecology and Evolution, SUNY. Stony Brook, New York. 1998, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.
- [31] Rohlf FJ, TpsRegr. Ecology and Evolution, SUNY. Stony Brook, New York. 1998, <http://life.bio.sunysb.edu/morph/>.
- [32] Wolpoff MH. Metric trends in hominid dental evolution[M]. Cleveland: Case Western Reserve University Press, 1971.

Morphometric Analysis of Chinese Teeth : Crown Shapes and their Variations in Maxillary and Mandibular Premolars of a Recent Chinese Population

XING Song^{1 2} , ZHOU Mi³ , LIU Wu¹

(1. *Key Laboratory of Evolutionary Systematics of Vertebrates ,*

Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthropology , Chinese Academy of Sciences , Beijing 100044 ;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences , Beijing 100049 ;

3. Institute of Archeology and Cultural Relics of Hubei Province , Wuhan 430077)

Abstract: This study analyzes the outline and polygon shapes of maxillary and mandibular premolars of recent Chinese collected from archeological sites at Xichuan , Henan Province , and from Yunxian , Dan Jiang Kou , Hubei Province. The following conclusions from this research have been made. The outline of P¹ is symmetrical with the buccal part extending mesially and distally ; its polygon shape is an irregular rhombus with the lingual tip moving mesially. The outline of P² is also symmetrical , and the extent to which the buccal part extends mesially and distally varies among individual teeth ; its polygon shape is an irregular rhombus due mainly to the mesially displaced lingual tip. The mesiolingual edge of P₁ contracts inside , which makes its outline asymmetrical as a whole ; its polygon approaches the mesiolingual edge of the outline , with its shape being similar to a square. The P₂ possesses a centered occlusal polygon , irregular rhombus in shape but with a basically symmetrical outline. Both shapes of the outline and polygon overlap little between P₁ and P₂. The extent of variation extent and manner of both the outline and the polygon collectively resembles each other between P¹ and P². The P¹ could be sorted into two categories on the basis of the distance between the tip of the buccal cusp and its neighboring edge of outline. Based on the extent of the buccal part of the outline there could be two groupings of P². Tooth variations are greater in the mandibular premolars compared to their maxillary counterparts , with differences found mainly in the distolingual part of the outline , distal fovea , and the tip of the lingual cusp. Three types of P₁ or P₂ could be attained when considering the proportion of buccolingual and mesiodistal distances , locality of distal fovea , and the lingual cusp tip. Allometric analysis indicates that the shapes of all four premolars are not obviously impacted by their sizes.

Key words: Premolar ; Shape ; Geometric morphometrics ; Recent Chinese population