

* 专题评述 *

人类下颌骨形态变异研究概况*

李海军^{1,2**}

1. 中国科学院古脊椎动物与古人类研究所, 北京 100044; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049

摘要 下颌骨位于面部下方, 与左右颞骨构成颞下颌关节。下颌骨是颅骨中唯一可动的骨, 与头骨协同在咀嚼、发音等功能中发挥重要作用, 并与头骨共同维持一定的面型。前人对人类下颌骨形态特征做了大量研究, 主要包括以下几方面内容: 下颌骨形态特征的时代、地区和人群变异; 下颌骨观察性状、测量性状在人群关系研究中的价值; 下颌骨与牙齿、颞骨下颌窝、头面部形态的关系; 下颌骨形态变异的原因。通过对以上几方面研究内容的归纳, 对人类下颌骨研究作简要综合论述, 并对国内下颌骨研究作了简要回顾和展望。

关键词 下颌骨 变异 演化

1 全新世下颌骨的时代变异

很多研究表明, 全新世(距今 10 ka 以来)人类下颌骨仍随时代而变化。欧洲近代以来, 下颌骨在缩小^[1-3], 下颌骨不同时代间的差异远大于现代人类的差异, 表明其时代变化显著^[4]。新石器时代到 19 世纪, 英国人下颌骨尺寸减小, 尤以下颌支的减小最明显^[3]。日本现代人下颌骨厚度随时代显著变小^[5], 弥生时代与绳纹时代的下颌骨有很多差异^[6]。从绳纹时代至现代, 关东地区下颌骨变窄, 咀嚼肌附着处变弱, 下颌联合高增加^[7]。北海道人群下颌支随时代而缩小^[8]。头骨 X 光片研究也支持下颌骨随时代而缩小^[7,9]。关于下颌骨时代变化的原因, 目前还存在很多争议。

2 下颌骨的地区、人群变异

2.1 下颌骨的地区、人群变异及在人群关系中的研究

下颌骨很多观察性状在不同人群间有差异(下

颌骨解剖结构见图 1)。下颌小舌的形态类型可作为评测人群、人种的指标^[10]。H—O 型(形状卵圆—位置水平)下颌孔受遗传因素影响^[11], 在尼人中的出现率远高于其他原始人类^[12]。下颌舌骨肌线桥在区分蒙古人种不同地区类型时起重要作用^[13]。人群间下颌密质骨的差异与遗传因素密切相关, 并非都由咀嚼压力决定^[14]。不同人群间颞下颌关节绝对及相对尺寸(相对于头面部整体)有差异^[15]。下颌圆枕可能是蒙古人种的特征^[16], 也可能是对咀嚼压力负荷的功能性适应, 在人群生活环境、食物结构研究中有重要价值^[17,18]。尼人与现代人下颌骨相比, 有很多特殊性, 如颞孔位置靠后^[19,20]; 臼齿远端空隙很大^[19]; 下颌角区域较圆^[20,21]; 下颌切迹近二等分髁突, 髁突较靠外侧^[19]; 下颌切迹浅, 且不对称, 冠突高于髁突^[22]; 下颌下腺窝和翼肌窝较深^[20,21]; 下颌孔为 H—O 型^[19,23]。尼人下颌骨特殊的形态与咀嚼力无关, 而与系统发育(phylogenetic)有关^[24]。

下颌骨测量性状在人群关系研究中亦有重要价

2009-06-10 收稿, 2009-08-15 收修改稿

* 国家自然科学基金(批准号: 40772016)、科技部国际合作重点项目(批准号: 2009DFB20580)和国家重点基础研究发展计划(批准号: 2006CB806400)资助项目

** E-mail: Lindavy@163.com

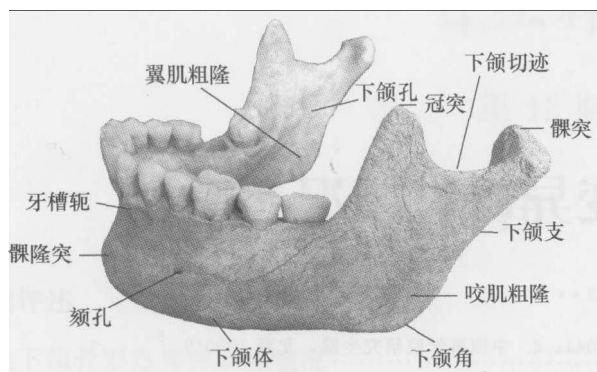


图1 下颌骨解剖图

值, 这方面研究已取得了很多进展。在区分日本人主要祖先绳纹和弥生人群时, 下颌骨测量性状与头骨同样有效^[25]。日本绳纹时代5个地区人群间下颌骨测量性状存在差异^[6]。从史前时期到中世纪, 日本关东地区人群下颌骨与绳纹人群相似, 而该地区现代人群下颌联合高增加, 这表明关东地区现代人可能由本土绳纹人群演化而来, 并与外来移民弥生人群有一定的基因交流^[7]。下颌骨5项测量性状研究表明: 绳纹时代时, 日本北海道与本州岛的人群是隔离、孤立的^[8]。欧洲、非洲人下颌角度小于亚洲人, 下颌角点到颞下点的距离在不同洲的人群间也存在很大差异^[26]。Rak等对下颌支上部(冠突, 髁突和下颌切迹)的形态进行了量化研究, 认为尼人与智人的差别大于智人与直立人的差别, 尼人下颌支的特殊形态说明尼人在现代人形成中不起作用^[27]。Humphrey等^[4]系统研究了多组现代人群下颌骨的形态变异, 发现4组非洲下颌骨形态接近, 澳大利亚下颌骨的形状和大小与所研究人群的平均水平接近, 非洲与澳大利亚下颌骨很相似, 这些与头骨测量性状研究结果一致^[28-30]。Nicholson等^[24]发现下颌骨测量数据的统计分析能准确区分所研究的10组不同地区现代人群, 亦可以清楚地区分现代人和化石人类。

2.2 下颌骨在人群关系研究中价值的争论

下颌骨在人群关系研究中的价值大小一直存在争论。一些学者发现下颌骨形态能很好地反映人群关系或区分人群^[8,24-26], 与地理研究、系统发育学研究一样有效^[24], 但也有不同的观点: 同一人群内下颌骨测量性状的变异比头骨大, 在研究种族或人群关系时不如头骨有效^[31]; 下颌骨的变异源于个体

发育或咀嚼功能的差异, 不能准确反映人群历史, 对研究现代人群历史价值不大^[31-34]。Humphrey等^[4]发现根据测量性状研究人群关系时, 下颌骨与头骨的研究结果一致, 进而认为若没有对数量相同且个体对应的头骨、下颌骨进行对比研究, 下颌骨与头骨在人群关系研究中的价值大小就难以比较。

3 下颌骨与牙齿及头骨形态的关系

3.1 下颌骨与牙齿

下颌骨是牙齿的载体, 在功能、形态变异上也与牙齿有一定关系。下颌骨联合高与牙齿的大小及生长有关^[14]。臼齿的微磨损模式与下颌骨形态、下颌骨长、下颌体厚等有关, 都反映了相似的咀嚼压力负荷^[35]。随着牙齿磨损增加, 下颌骨髁突尺寸也增大, 这种变化可能由咀嚼时关节上的负载引起^[36]。从罗马时期到19世纪, 英国人下颌骨比牙齿减小的比例大^[37]。欧洲近代以来, 下颌骨缩小, 但牙齿尺寸几乎未变^[1-3]。

3.2 颞下颌关节

颞下颌关节是头骨和下颌骨间的关节结构, 主要由颞下颌窝与髁突组成, 如果髁突较圆, 则下颌窝较深^[38]。下颌窝比髁突大, 使得髁突能在较大的窝内作回旋运动, 这对咀嚼运动有重要意义。颞下颌关节解剖结构及功能与殆密切相关。咀嚼运动是颞下颌关节与殆协同作用进行的, 二者构成一个功能整体, 可称作殆颌关节或牙-颞颌关节。殆可理解为颞下颌关节的延伸, 而颞下颌关节亦可看做作为一种特殊的殆, 是牙列的延伸^[39]。咀嚼时, 颞下颌关节承受着很大的压力^[40-43]。颞下颌关节的负重区不在髁突顶部的横嵴与关节窝顶部, 而在髁突的前斜面 and 关节结节的后斜面所构成的一对负重区^[39]。咀嚼时, 髁突沿关节结节滑动, 髁突向下移动程度取决于关节结节高度, 关节结节在人出生时是平的, 随着牙的萌出和咀嚼功能的发展, 关节结节高度才逐渐增加^[39]。

非洲 Nubia 遗址(跨越1万年, 经历狩猎-采集到完全农业化阶段)人群颞下颌关节随时代而减小, 这可能与咀嚼肌减弱有关, 也可能由头面部形态改变引起。其中, 男性比女性减小的更明显, 使得性别差异也随时代而减小^[44]。

以狩猎采集生活方式为主的土著居民咬力比现

代人大^[45-47], 他们和化石人类的颞下颌关节都比现代人大得多^[48-50], 这种尺寸差异与其功能有关^[44].

曾祥龙等^[51]发现 23% 的新石器时代头骨存在髁突和关节结节骨质的严重磨损、不对称磨损和不规则增生, 认为这是由于强大的咀嚼压力所造成的继发性关节退行性变. 与现代人类相比, 新石器时代人类髁突较大, 关节结节较高, 关节凹较深, 关节结节后斜面斜度较小, 反映了人类演化过程中颞下颌关节变小, 关节承压结构减弱.

朱泓等^[52]研究了一批青铜时代和铁器时代的颞下颌关节, 发现游牧人群的髁突比农业人群粗壮. 从新石器时代到青铜至铁器时代, 颞下颌关节的形态变化与进化关系不大, 而主要受饮食结构的影响.

3.3 下颌骨与头面部

下颌骨位于面部下方, 通过颞下颌关节与头骨相联, 与头骨一起维持着一定的面型, 并在咀嚼、发音等功能中与头骨协同发挥作用. 解剖位置及功能上的相关使得下颌骨与头面部形态有一定的关系.

由于上下颌骨较前突(下颌 Mental 角角度大), 周口店直立人面部比现代人突出, 面颅很大. 直立人向现代人演化过程中, 上下颌骨回缩, 面颅缩小, 脑颅增大. 在过去约 2300 年中, 日本人齿槽突颌的显著增长是由上下颌骨的变小(前部牙齿大小不变)而引起^[53]. 下颌骨位置与头面部也存在一定的角度关系, “前颅底平面—下颌平面”夹角与“前颅底平面—咬合平面”夹角呈正相关, 相关系数 0.662, 而且“前颅底平面—下颌平面”夹角在人群间存在差异^[54].

头骨形状与下颌骨的尺寸变异关系不大^[34,55], 但其颞骨岩部的方向影响下颌支的位置和宽度^[56].

下颌骨骨密度与头面部的垂直形态密切相关, 骨密度低, 则面部发育以垂直方向为主. 长面型组的骨密度最低, 短面型组骨密度最高^[57].

下颌骨的性别差异大于头骨^[50], 下颌支与面部也存在较大的性别差异, 男性下颌支平均比女性长 14%, 而面部差异仅约 8%^[58].

3.4 下颌支与颅中窝

Enlow 等^[59]认为下颌支生长受颅中窝生长发育的影响, 下颌支宽的变异与颅中窝的大小有关. 但这种观点没有引起学术界足够的重视.

4 下颌骨形态变异的原因

在对下颌骨形态进行研究的同时, 学者们对下颌骨形态变异的原因进行了探讨, 提出了很多解释, 可归纳如下:

4.1 食物结构、咀嚼功能

一些学者认为下颌骨的形态变异主要与食物结构、咀嚼功能有关. 下颌骨线性测量的变异主要受个体发育和咀嚼功能的影响^[33,34,55], 下颌骨变小可能是因为食物变软, 使得其生长发育所必需的咀嚼刺激变小(含动物实验)^[60,61]. 中国人群下颌骨特殊的形态结构, 如下颌支较高、下颌体较厚、下巴区域发达等反映了对粗糙食物的咀嚼功能适应^[4]. 下颌密质骨形态与遗传因素密切相关, 生长模式受到咀嚼压力的调节作用^[14].

Kaifu^[5]认为咀嚼压力的减小对下颌骨有 4 方面影响: (i) 变窄; (ii) 主要咀嚼肌肉附着处减弱; (iii) 下颌体侧面厚度减小; (iv) 下颌骨联合部密质骨厚度减小. 日本多个地点下颌骨随时代变化的性状中, 变窄、咀嚼肌附着处变弱、厚度减小都是由于咀嚼压力减弱而引起的^[5,7].

4.2 演化趋势

有研究表明, 全新世人群头骨发生着微观演化: 中国北方人群脑颅和面颅趋向缩小, 颅型趋向圆隆化^[62]; 美洲居民头盖变长变窄, 面部变窄变高^[63]; 日本居民上面部高度增加^[64]. 因为位置相连、功能相关, 头骨的演化很可能和下颌骨的变化有相互影响. 一些学者认为, 下颌骨尺寸随时代减小只是整个头面部长演化趋势的一部分, 与食物变化没有关系^[65,66].

如果下颌骨尺寸的减小主要由食物的变化引起, 那么下颌支(协助咀嚼肌运动)的减小就应该比下颌体(容纳牙齿)的减小更明显. Lavelle^[37]测量了 210 例下颌骨, 发现难以区分下颌骨随时代而缩小的变化主要发生于下颌支还是下颌体. 下颌骨的变化主要是由食物变化还是长期的演化趋势引起还难以判断. Hinton 等^[44]认为下颌骨局部结构的改变既可能是咀嚼肌肉减弱的结果, 也可能是头面部形态演化的伴随结果, 难以区分.

4.3 基因交流

Kaifu^[5]认为基因交流、融合可能在下颌体厚度上有所体现. 日本关东地区下颌联合高的增大亦可能是受到外来移民基因的影响^[7]. 尚虹等^[67]认为田园洞下颌骨上的牙齿比例特点也是受到外来基因的影响. 从基因交流的角度解释下颌骨形态的变异目前还不多见.

4.4 多因素共同作用

Hinton等^[15]认为人群间下颌关节尺寸的差异与基因、咀嚼压力、牙齿使用等都有关系. 2006年, Nicholson等^[24]运用三维几何形态学定量分析人类下颌骨, 发现现代人下颌骨存在大量不同地理区域特点, 一些形态还反映了不同的气候或功能, 人群历史、气候、功能都可以影响下颌骨的形态, 比已往的认识要复杂得多.

5 国内人类下颌骨研究

5.1 中国化石人类下颌骨研究

Weidenreich^[68]对周口店直立人下颌骨进行了细致系统的研究, 在化石人类下颌骨研究中占有重要地位. 国内其他化石人类下颌骨, 如马坝、许家窑、山顶洞的研究都相对较为简单, 只是作为头骨研究的辅助观测^[69-71].

2007年, 尚虹等^[67]对发现于周口店田园洞的下颌骨化石(距今42—39 Ka)进行了研究, 发现具有一系列现代人特征, 但牙冠宽度的比值($I2-C1)/(M1-M2)$, $(I2-C1)/(P3-M2)$ 体现有尼人特点, 并认为这是基因交流的证据. 这项研究提示牙齿的比例关系含有很多科学信息, 而国内学术界以前未注意到这一点.

5.2 中国现代人类下颌骨研究

国内很多学者对下颌骨的形态做了大量研究. 涉及特定地区下颌骨的观测^[72,73]; 下颌窝的观测^[74-76]与位置^[77]; 下颌骨弧及角度的测量^[78]; 下颌角的年龄变化^[79]; 髁突与关节窝相关性分析^[80]; 颞下颌关节^[81,82]; 下颌小舌^[83]; 下颌支外侧隆凸^[84,85]; 颞棘^[86]; 下颌圆枕^[18]; 颞孔^[87-92]; 下颌孔^[92-95]; 下颌副孔^[96-98]; 下颌无名孔^[99]等.

然而, 相比国外对下颌骨进行的系统研究, 国

内研究多局限于少量性状在某一组人群中的表现. 国内考古遗址人骨的研究多集中于头骨, 没有给予下颌骨足够的重视, 不包含下颌骨性状或仅选少量下颌骨性状作为辅助研究, 很少系统研究下颌骨形态的地区、人群变异, 也很少从演化角度研究下颌骨的变化.

5.3 国内下颌骨形态研究展望

根据国内研究现状及与国外相关研究的比较, 可以从以下几方面进一步开展下颌骨研究.

(1) 系统整理现代人下颌骨形态特征的表现情况

目前, 国内下颌骨形态研究较零散, 缺乏其性状表现情况的系统数据, 一定程度上制约了对化石人类下颌骨的演化分析.

(2) 探讨下颌骨形态特征的时代、地区变异及功能适应

下颌骨的时代、地区变异目前还不清楚, 同时因为与咀嚼功能密切相关, 下颌骨形态可能受到咀嚼压力的影响.

(3) 对下颌骨性状进行筛选和分类

下颌骨在考古遗址人群关系研究中应用相对较少, 主要是由于对下颌骨各性状的影响因素还不清楚. 因此有必要对下颌骨各个性状进行甄别: 哪些与某种机能有关, 哪些与人群历史有关, 哪些与演化趋势有关, 这将充分揭示下颌骨在人群关系研究中的价值.

(4) 分析下颌骨与牙齿、颞下颌窝、头面部协同变异的关系

下颌骨与牙齿、颞下颌窝、头面部的解剖位置及功能密切相关, 形态变异上也可能有一定的关系, 可能存在演化速率上的不平衡.

(5) 从生物力学角度分析下颌骨变异的特点及意义

近些年来, 下颌骨生物力学研究取得了很多进展: 牙齿切咬时, 下颌骨前部像连杆(颞肌收缩直接拉动下颌骨), 而后部像杠杆(颞肌、咬肌等在髁突处转动下颌骨)^[100]. 最大咬力出现于第一臼齿, 往前往后都变小^[101]. 咬力的大小与下颌骨长度、髁突间宽有关, 下颌骨的缩短可能使第一臼齿区域的咬力变大^[102]. 很多学者运用三维有限元分析, 研究了咬合时下颌骨应力集中出现的部位及变化^[103-106]. 这些为

下颌骨形态研究提供了新的视角:从生物力学角度探讨下颌骨变异的特点和意义。

(6) 运用新技术、新方法研究下颌骨形态的变异

近些年来,国外采用多种新技术和方法研究人类下颌骨,如三维测量、轮廓 Fourier 分析等^[24,107]。同时国内外口腔医学、特别是口腔正畸学运用 X 线、CT 等影像学手段对颌面形态、包括下颌骨大小、形态、位置做过不少研究^[108-110]。这些研究虽然针对现代人,但资料比古代标本完整、数量也多,对古人类研究会有所启示。这些新技术和方法可以更系统更全面反映标本信息,在古人类下颌骨研究上有广阔的前景。

参 考 文 献

- Lysell L. A biometrical study of occlusion and dental arches in a series of mediaeval skulls from northern Sweden. *Acta Odontol Scand*, 1958, 16: 177—203
- Goose DH. Reduction of palate size in modern population. *Arch Oral Biol*, 1962, 7: 343—350
- Moore WJ, Lavelle CLB, Spence TF. Changes in the size and shape of the human mandible in Britain. *Br Dent J*, 1968, 125: 163—169
- Humphrey LT, Dean MC, Stringer CB. Morphological variation in great ape and modern human mandibles. *J Anat*, 1999, 195: 491—513
- Kaifu Y. Temporal changes in corpus thickness of the Japanese mandibles. *Bull Nat Sci Mus; Ser D Anthropol*, 2000, 26: 39—44
- Kaifu Y. Regional variation in mandibular morphology of the Jomon people. *Bull Nat Sci Mus*, 1995, 21: 37—50
- Kaifu Y. Changes in mandibular morphology from the Jomon to modern periods in Eastern Japan. *Am J Phys Anthropol*, 1997, 104: 227—243
- Maeda T. Mandibular ramus morphology of the Jomon people from Hokkaido. *Anthropol Sci*, 2002, 110: 27—40
- Inoue N, Ito G, Kamegai T, et al. Studies on tooth to denture base discrepancy consequent upon human evolution. A Report of Research Project supported by Grant-in-Aid from Japanese Ministry of Education, Science, Sports and Culture. 1984
- Berry AC. Factors affecting the incidence of non-metrical skeletal variants. *J Anat*, 1975, 120: 519—535
- Kallay J. Lage und Form des Foramen mandibulare beim Krapina-Menschen. *Österr Z Stomatol*, 1955, 52: 523—526
- Smith FH. The evolutionary significance of the mandibular foramen area in Neandertals. *Am J Phys Anthropol*, 1978, 48: 523—531
- 尚虹, 韩康信, 李振光. 广饶新石器时代人类头骨的小变异. *人类学学报*, 2003, 22: 218—224
- Fukase H, Suwa G. Growth-related changes in prehistoric Jomon and modern Japanese mandibles with emphasis on cortical bone distribution. *Am J Phys Anthropol*, 2008, 136: 441—454
- Hinton RJ. Relationships between mandibular joint size and craniofacial size in human groups. *Arch Oral Biol*, 1983, 28: 37—43
- Weidenreich F. The mandibles of *Sinanthropus pekinensis*: A comparative study. *Palaeontologia Sinica, Series D*, 1936, 7: 1—162
- Pechenkina E, Benfer R, Wang Z. Diet and health changes at the end of the Chinese Neolithic: The Yangshao/Longshan transition in Shaanxi Province. *Am J Phys Anthropol*, 2002, 117: 15—36
- 刘武, 张全超, 吴秀杰, 等. 新疆与内蒙古地区青铜—铁器时代居民牙齿磨损及健康状况的分析. *人类学学报*, 2005, 24: 32—53
- Franciscus RG, Trinkaus E. Determinants of retromolar space presence in Pleistocene Homo mandibles. *J Hum Evol*, 1995, 28: 577—595
- Rosas A. Occurrence of Neanderthal features in mandibles from the Atapuerca-SH site. *Am J Phys Anthropol*, 2001, 114: 74—91
- Creed-Miles M, Rosas A, Kruszynski R. Issues in the identification of Neanderthal derivative traits at early post-natal stages. *J Hum Evol*, 1996, 30: 147—153
- Jabbour RS, Richards GD, Anderson JY. Mandibular condyle traits in Neanderthals and other Homo: A comparative, correlative, and ontogenetic study. *Am J Phys Anthropol*, 2002, 119: 144—155
- Trinkaus E. Neanderthal faces were not long; modern human faces are short. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2003, 100: 8142—8145
- Nicholson E, Harvati K. Quantitative analysis of human mandibular shape using three-dimensional geometric morphometrics. *Am J Phys Anthropol*, 2006, 131: 368—383
- Kaifu Y. Differences in mandibular morphology of the Jomon people from Kanto and the Yayoi from Northern Kyushu and Yamaguchi. *Anthropol Sci*, 1995, 103: 291—308
- Puigoru M, Forna N, Fātu AM. Analysis of mandibular variability in humans of different geographic areas. *Ann Anat*, 2006, 188: 547—554
- Rak Y, Ginzburg A, Geffen E. Does Homo Neanderthalensis play a role in modern human ancestry? The mandibular evidence. *Am J Phys Anthropol*, 2002, 119: 199—204

- 28 Howells WW. Cranial variation in man. *Papers of the Peabody Museum of Archaeology and Ethnology*, 1973, 67: 1—259
- 29 Howells WW. *Skull Shapes and the Map*. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1989
- 30 Hanihara T. Comparison of craniofacial features of major human groups. *Am J Phys Anthropol*, 1996, 99: 389—412
- 31 Cleaver FH. A contribution to the biometric study of the human mandible. *Biometrika*, 1937, 29: 80—112
- 32 Harrower G. A biometric study of one hundred and ten Asiatic mandibles. *Biometrika*, 1928, 20: 279—293
- 33 Hrdlicka A. Mandibular and maxillary hyperostosis. *Am J Phys Anthropol*, 1940, 27: 1—55
- 34 Hrdlicka A. Lower jaw. *Am J Phys Anthropol*, 1940, 27: 281—308
- 35 Mahoney P. Microwear and morphology: Functional relationships between human dental microwear and the mandible. *J Hum Evol*, 2006, 50: 452—459
- 36 Owen CP, Wilding RJ, Morris AG. Changes in mandibular condyle morphology related to tooth wear in a prehistoric human population. *Arch Oral Biol*, 1991, 36: 799—804
- 37 Lavelle CLB. A comparison between the mandibles of Romano-British and nineteenth century periods. *Am J Phys Anthropol*, 1972, 36: 213—220
- 38 Matsumoto MAN, Bolognese AM. Bone morphology of the temporomandibular joint and its relation to dental occlusion. *Braz Dent J*, 1995, 6: 115—122
- 39 皮昕, 何三纲, 王美青, 等. *口腔解剖生理学*. 北京: 人民卫生出版社, 2006
- 40 Barbenel JC. Analysis of forces at the temporomandibular joint during function. *Dent Pract Dent Rec*, 1969, 19: 305—310
- 41 Barbenel JC. The biomechanics of the temporomandibular joint: A theoretical study. *J Biomech*, 1972, 5: 251—256
- 42 Hekneby M. The load of the temporomandibular joint: Physical calculations and analyses. *J Prosthet Dent*, 1974, 31: 303—312
- 43 Hylander WL. The human mandible: Lever or link? *Am J Phys Anthropol*, 1975, 43: 227—242
- 44 Hinton RJ, Carlson DS. Temporal changes in human temporomandibular joint size and shape. *Am J Phys Anthropol*, 1979, 50: 325—334
- 45 Oppenheimer AM. On tool use and crowded teeth: Reply. *Curr Anthropol*, 1966, 7: 357—359
- 46 Heath J. Facial form and biting pressure. *Aust J Dent*, 1948, 52: 253—255
- 47 Worner HK, Anderson MN. Biting force measurements on children. *Aust J Dent*, 1944, 47: 1—12
- 48 Amer A. Approach to surgical diagnosis of the temporomandibular articulation through basic studies of the normal. *J Am Dent Assoc*, 1952, 45: 668—688
- 49 Angel JL. Factors in temporomandibular joint form. *Am J Anat*, 1948, 83: 223—246
- 50 Morant GM, Collett M, Adyanthaya NK. A biometric study of the human mandible. *Biometrika*, 1936, 28: 84—122
- 51 曾祥龙, 林久祥, 黄金芳, 等. 新石器时代人骨颞下颌关节的研究. *人类学学报*, 1986, 5: 346—351
- 52 朱泓, 宋士甫. 青铜—铁器时代人类颞下颌关节的形态学研究. *人类学学报*, 1989, 8: 329—334
- 53 Kaifu Y. Changes in alveolar prognathism and anterior teeth protrusion in Japan. *Anthropol Sci*, 1999, 107: 3—24
- 54 Tadao O, Hiroji I, Shouichi I, et al. A roentgenographic cephalometric study on the relationship of dentofacial morphology and occlusal plane. *The Journal of the Japan Prosthodontic Society*, 1988, 32: 1268—1274
- 55 Hrdlicka A. Lower jaw further studies. *Am J Phys Anthropol*, 1940, 27: 383—467
- 56 Bastir M, Rosas A, Kuroe K. Petrosal orientation and mandibular ramus breadth: Evidence for an integrated petroso-mandibular developmental unit. *Am J Phys Anthropol*, 2004, 123: 340—350
- 57 邹冰爽, 曾应魁, 曾祥龙. 下颌骨骨密度与颌面形态关系的研究. *北京医科大学学报*, 1999, 31: 446—449
- 58 Hunter WS, Garn SM. Disproportionate sexual dimorphism in the human face. *Am J Phys Anthropol*, 1972, 36: 133—138
- 59 Enlow DH, Moyers RE, Hunter WS, et al. A procedure for the analysis of intrinsic facial form and growth. *Am J Orthod*, 1969, 56: 6—23
- 60 Wallace JS. *Variation in the Form of the Jaws*. Baillière, Tindall and Cox, London, 1927
- 61 Watt DG, Williams CHM. The effects of the physical consistency of the food on the growth and development of the mandible and maxilla of the rat. *Am J Orthod*, 1951, 37: 895—928
- 62 吴秀杰, 刘武, 张全超, 等. 中国北方全新世人群头面部形态特征的微观演化. *科学通报*, 2007, 52: 192—198
- 63 Jantz RL, Jantz LM. Secular change in craniofacial morphology. *Am J Hum Biol*, 2000, 12: 327—338
- 64 Nakahash T. Temporal craniometric changes from the Jomon to the modern period in western Japan. *Am J Phys Anthropol*, 1993, 90: 409—425
- 65 Keith A. Concerning certain structural changes which are taking place in our jaws and teeth. *Dental Board of the United Kingdom*, London, 1924
- 66 Hooton EA. The evolution and devolution of the human face. *Am J Orthod*, 1946, 32: 657—672
- 67 Shang H, Tong HW, Zhang SQ, et al. An early modern human from Tianyuan Cave, Zhoukoudian, China. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2007, 104: 6573—6578

- 68 Weidenreich F. On the earliest representatives of modern mankind recovered on the soil of East Asia. *Peking Natural History Bulletin*, 1939, 13: 161—174
- 69 吴新智. 周口店山顶洞人化石的研究. *古脊椎动物与古人类*, 1961, (3): 181—203
- 70 宋方义, 张镇洪, 黄志高. 广东曲江马坝狮子岩新发现的人类化石. 广东省博物馆编. 纪念马坝人化石发现三十周年文集. 北京: 文物出版社, 1988, 8—14
- 71 吴茂霖. 许家窑遗址 1977 年出土的人类化石. *古脊椎动物与古人类*, 1980, 18: 233—234
- 72 王永豪. 上海地区中国人下颌骨的测量. *上海医学院学报*, 1956, (1): 51
- 73 吴定良. 南京北阴阳营新石器时代晚期人类遗骸(下颌骨)的研究. *古脊椎动物与古人类*, 1961, (1): 49—53
- 74 刘文国. 颞下颌关节窝的形态观测及应用. *解剖学研究*, 2001, 23: 225—226
- 75 刘文国. 下颌窝的观测. *四川解剖学杂志*, 2001, 9: 141—142
- 76 周 秦, 刘越胜, 张 琳, 等. 颞下颌关节窝形态测量方法的研究进展. *中国美容医学*, 2004, 10: 635—637
- 77 徐 信, 纪昌蓉. 不同骨骼形态中关节凹位置的研究. *现代口腔医学杂志*, 2002, 16: 60—61
- 78 曹文强, 丁士海, 刘文君. 下颌骨弧度及角度的测量. *解剖学杂志*, 1999, 22: 79—80
- 79 柏蕙英. 中国人下颌角的年龄变化. *解剖学报*, 1979, 10: 13—20
- 80 贺建军, 王美青, 卢 超. 下颌髁突与关节窝解剖相关性测量和分析. *牙体牙髓牙周病学杂志*, 2003, 13: 669—671
- 81 徐晓明, 冯 固, 张健民, 等. 颞下颌关节骨性形态特征. *解剖学杂志*, 1986, 9: 38
- 82 徐晓明, 吴晋宝, 张健民, 等. 颞下颌关节骨性部分的测量和分析. *解剖学报*, 1986, 17: 343
- 83 王月初, 尹群生, 王宏宇. 下颌小舌的位置与形态. *解剖学杂志*, 1986, 9(增刊): 6
- 84 陈志兴, 蔡良骏, 尤宝英. 下颌支外侧隆凸的发生率及其与下颌孔的关系. *口腔医学*, 1983, 1: 19
- 85 党汝霖, 杜希哲, 陶运孝. 下颌支外侧隆凸与下颌孔的关系. *解剖学通报*, 1982, 5(增刊): 98
- 86 张富安, 王淑新, 李凤新. 512 例颊棘观察与测量. *解剖学通报*, 1984, 7: 351
- 87 吴定良. 测定颞孔前后位置之指数. *人类学集刊*, 1941, (2): 99—106
- 88 吴定良. 下颌颞孔的类型和演化. *复旦学报(自然科学)*, 1956, (1): 159—168
- 89 张查理. 颞孔与颞神经之方向在进化中的变化. *解剖学报*, 1953, 1: 78—81
- 90 王永豪, 翁家颖, 王健民. 中国人下颌颞孔. *解剖学报*, 1954, 1: 201—210
- 91 张炳常. 中国人颞孔及下颌孔的观察. *解剖学报*, 1954, 1: 211—218
- 92 刘美音, 王怀经, 段德刚. 中国人颞孔与下颌孔的研究. *山东医学高等专科学校学报*, 1990, 12: 85—87
- 93 李建录, 郑保平. 下颌孔定位的应用解剖. *临床口腔医学杂志*, 1989, 5: 155—156
- 94 黄 靖. 成人下颌孔的位置及下颌切迹和下颌支的测量. *上海口腔医学*, 2003, 12: 284—287
- 95 张美娟, 陈文英, 柏蕙英. 中国人下颌孔位置的观察. *解剖学通报*, 1982, 5: 11
- 96 姚 波, 杨 丽, 王效杰, 等. 下颌副孔的分布及其临床意义. *西部医学*, 2007, 19: 18—20
- 97 姚 波, 李宏革. 下颌骨外侧面下颌副孔的研究. *沈阳医学院学报*, 2001, 3: 201—203
- 98 王效杰, 李宏革, 姚万才. 下颌骨内侧面下颌副孔的位置. *解剖科学进展*, 2002, 8: 317—318
- 99 张奎启, 林 丽, 史晓芳. 下颌无名孔的观测. *大连医学院学报*, 1994, 16: 245—248
- 100 Hylander WL. Incisal bite force direction in humans and the functional significance of mammalian mandibular translation. *Am J Phys Anthropol*, 1978, 48: 1—8
- 101 Spencer MA. Force production in the primate masticatory system: electromyographic tests of biomechanical hypotheses. *J Hum Evol*, 1998, 34: 25—54
- 102 Kieser J. Biomechanics of masticatory force production. *J Hum Evol*, 1999, 36: 575—579
- 103 王 杭, 陈孟诗, 田卫东, 等. 不同加载方式及咬合部位对下颌骨应力分布的影响. *四川大学学报(医学版)*, 2004, 35: 516—519
- 104 李凤和, 梁建术, 王永海, 等. 下颌骨应力分布的三维有限元分析. *现代口腔医学杂志*, 1998, 12: 30—31
- 105 胡 凯, 周继林, 刘洪臣, 等. 正常人下颌骨的三维有限元应力分析. *军医进修学院学报*, 1998, 19: 97—100
- 106 徐 金, 熊桂荣, 姜 平, 等. 不同年龄下颌骨应力分布与骨折发病率的关系. *江苏大学学报(医学版)*, 2006, 16: 291—293
- 107 Schmittbuhl M, Le Minor JM, Schaaf A, et al. The human mandible in lateral view: Elliptical fourier descriptors of the outline and their morphological analysis. *Ann Anat*, 2002, 184: 199—207
- 108 葛高华, 金素雯. 准矢状位高分辨 CT 扫描在显示上下颌骨及牙齿中的作用. *右江医学*, 2004, 32: 339—340
- 109 许一起, 丁 寅, 彭 勇, 等. 发育性偏颌畸形患者的下颌骨三维形态分析. *第四军医大学学报*, 2008, 29: 1325—1327
- 110 Matsumoto MAN, Bolognese AM. Study of the radiographic morphology of the temporomandibular joint. *Braz Dent J*, 1993, 4: 97—103