

# 孔子鸟 (*Confuciusornis*) 骨骼 微观组织结构初步研究<sup>1)</sup>

张福成 侯连海 欧阳涟

(中国科学院古脊椎动物与古人类研究所 北京 100044)

**摘要** 基于孔子鸟 (*Confuciusornis*) 股骨骨骼的微观组织结构与现生鸟类的相似性, 认为孔子鸟具有较高而恒定的生长率, 其新陈代谢可能已进化到相当高的水平, 这种较高的代谢水平的起源要晚于鸟类的系统起源。鸟类骨骼内部的组织结构特征与骨骼外部的形态特征的进化是不同步的。孔子鸟等的祖先类型应是一生长速率较低而不恒定的、较原始的爬行动物。

**关键词** 孔子鸟, 微观组织结构, 生理

**中图法分类号** Q915.865

包括始祖鸟 (*Archaeopteryx*) 和孔子鸟在内的早期鸟类, 是研究原始鸟类演化等问题的基础。这些演化问题主要包括了鸟类起源 (Hecht and Tarsitano, 1983; Ostrom, 1970, 1975a, b, 1976; Martin, 1984; Thulborn, 1984; Wellnhofer, 1988; Hou, 1994, 1995; Hou *et al.*, 1995; 侯连海等, 1995), 鸟类的飞行起源及其飞行方式 (Ostrom, 1974, 1979; Martin, 1984; Caple, 1983; Paul, 1984; Feduccia, 1996), 鸟类的飞行能力 (Yalden, 1971, 1984), 鸟类羽毛的起源及功能 (Davis, 1995; Griffiths, 1996; Feduccia, 1979) 等方面的内容。

上述研究的方法或者手段虽然也有一些功能、理论上的推断, 但主要还是鸟类骨骼和羽毛的外部形态结构与其他鸟类或动物形态结构的类比。这种基于骨骼的外部形态与构造进行类比的方法是古生物学研究中经典的方法, 以这种形态类比为主要手段的研究方法奠定了人类对生物演化历史了解的主要框架。

科学的发展在很大程度上取决于研究手段的进步。在古鸟类学这个研究领域既需要经典的研究方法, 同时也需要应用新方法、新思维, 以此推动古鸟类学的发展。现代生物学具有两大发展方向, 一个是宏观方向的发展, 一个是微观方向的发展。这种以个体为分界的两大发展方向的相互交叉与结合推动了生物学的极大发展, 这也就是所谓的“21世纪是生物学的世纪”。古生物学作为生物学与地质学的交叉学科可能也要经历上述历程。在经典的古鸟类研究方法中引用生物学中的组织学研究手段, 是古鸟类研究从个体水平向微观领域的一个发展。

本文试图从鸟类骨骼的组织学水平研究说明鸟类起源与生理方面的一些问题。

<sup>1)</sup>中国科学院资源与生态环境研究重大项目 (KZ951-B1-410)、国家自然科学基金 (49672088) 及博士后经费资助

· 收稿日期: 1997-12-31

## 1 材料与方法

**材料** 研究材料包括4种鸟类的股骨,它们是中生代早期的孔子鸟、现生种类红嘴鸥和白额鸕及周口店的一种更新世鸟。上述标本均为中国科学院古脊椎动物与古人类研究所收藏标本。

1)孔子鸟(*Confuciusornis* sp.):产于辽宁省北票市上园镇四合屯村,义县组泥页岩。虽然对义县组的地质时代争议颇多,但迄今为止,孔子鸟是时代上最接近德国始祖鸟(*Archaeopteryx*)的一种,它的系统分类也与始祖鸟最为接近(Feduccia, 1996; Hou, 1995; Hou *et al.*, 1995)。始祖鸟是公认的、迄今发现的最原始的鸟类。

本研究所用的孔子鸟骨骼样品为一完整的股骨(长57.5mm,骨干压扁后的宽度7.8mm),与叉骨叠压在一起,同一石板上还有孔子鸟的其他呈零散分布的肢骨,经与其他几个完整的孔子鸟标本对照,这些零散骨骼属于孔子鸟。该股骨尺寸明显大于一完整孔子鸟标本——V11372(长44.4mm,骨干压扁后的宽度5.3mm)的股骨。由于V11372具有两个明显的长尾羽,类似于现生鸟类的寿带(*Terpsiphone paradisi*)和六线极乐鸟(*Parotia* spp.)等的尾羽,为成体鸟所具有,一般与求偶炫耀及婚配制度有关(郑光美, 1995),所以本研究所用样品应视为一成年个体的。同时,该标本的近端和远端部硬骨化程度与骨干部分相同,也说明该个体发育已相当完全。

2)红嘴鸥(*Larus ridibundus*):现生鸟类。属鹈形目 Charadriiformes, 鸥科 Laridae。为海鸟,亦少见于湖泊江河。以鱼、甲壳类及昆虫为食。遍及东北、长江流域及沿海(高玮, 1992)。

3)白额鸕(*Puffinus leucomelas*):现生鸟类。属鸕形目 Procellariiformes, 鸕科 Procellariidae。海鸟,鼻孔呈管状。以浮游生物、鱼和头足类为食,取食时有集群现象。我国沿海有分布(高玮, 1992)。

4)周口店鸡形目(Galliformes)鸟:时代为中更新世,产于周口店北京猿人产地第一地点。由于与人类的活动遗迹同时、大量地出现,并有火烧痕迹,说明与人类早期活动密切相关(侯连海, 1985)。

**方法** 主要包括两部分:样品的准备、制备和镜下观察与摄影,分述如下:

现生鸟类样品准备: 1)取现生鸟类的股骨,把粘连的肌肉、韧带等物剔除干净; 2)用烧碱或苛性钾浸泡,以腐蚀和脱除股骨上的残余肌肉、脂肪和韧带等; 3)清水冲洗; 4)剔除残余物; 5)用汽油或二甲苯脱脂; 6)晾干。

化石鸟类样品准备: 1)把化石骨骼从岩石中剥离、修复出来; 2)清除残余的泥、岩等杂物。

扫描电子显微镜样品制备: 1)超声波清洗准备好的现生和化石样品; 2)晾干; 3)把样品进行环氧树脂包埋、晾干固化; 4)垂直于骨干纵轴,用金刚石锯分割样品; 5)在磨石机上初磨分割好的样品; 6)在磨毛玻璃上用金刚砂细磨样品; 7)对标本进行平绒抛光处理; 8)清水冲洗,超声波清洗; 9)酸处理样品表面; 10)晾干或吹干样品; 11)真空条件下用黄金电镀样品的观察面。

光学显微镜、扫描电子显微镜下观察, 摄像。

## 2 结果

### 2.1 现代鸟类股骨横切面骨组织结构

#### 2.1.1 红嘴鸥股骨横切面骨组织结构(图版 I, 1)

红嘴鸥股骨呈现出较典型的现代鸟类的骨组织结构特征。其横切面主要由外环骨板(outer circumferential lamellae)、内环骨板(inner circumferential lamellae)和中间的哈弗氏骨板(Haversian lamellae)三部分共同组成。

外环骨板位于骨干的外周, 与骨干的外表面平行。外环骨板主要是胶原纤维、骨盐等细胞间质缓慢沉积的产物。这几层骨板在光镜下呈现的几条平行线, 即所谓的外周休止线(peripheral rest line), 是骨骼缓慢沉积或停止生长的产物。

哈弗氏骨板是密质骨的主要组成部分, 它是由许多纵向排列的骨单位(osteon)组成。每一个骨单位呈圆筒状, 其纵轴与骨干的纵轴相平行, 其中央的管状结构称为哈弗氏管(Haversian canal), 其周围是呈层排列的多层骨板(lamella), 哈弗氏管与其周围的多层骨板共同组成骨单位, 称为哈弗氏系统(Haversian system)。骨细胞(osteocyte)位于骨板间的骨陷窝(lacuna)内, 系统内壁衬有结缔组织膜, 内有血管和神经。

内环骨板位于密质骨内侧, 与骨髓腔表面相平行, 常有数层构成。内环骨板经常表现为不完整性、或较大的厚度变异。

在骨板内常见有横向的管道, 即弗克曼氏管(Volkmann's canal), 它与哈弗氏管共同形成了骨骼内血管和神经的通道。

3个骨板间的界限比较明显, 内环骨板厚度为外环骨板的3倍左右。哈弗氏管周围的骨板层多呈椭圆形排列。

#### 2.1.2 白额鸢股骨横切面骨组织结构(图版 I, 2)

同红嘴鸥相似, 白额鸢股骨的骨组织结构也主要由内环、外环和中间的哈弗氏骨板构成, 也同样具有哈弗氏管和弗克曼氏管共同组成的骨骼内部的管道系统。与红嘴鸥略有不同的是哈弗氏骨板和外环骨板间的界限并不如红嘴鸥那么明显, 其间有一较宽的、哈弗氏系统较少的过渡地带。同时, 白额鸢的内环骨板的厚度变异也较大, 有的地方相差近两倍之多。

#### 2.1.3 周口店鸡形目鸟类的骨组织结构(图版 I, 3)

与白额鸢和红嘴鸥相比, 周口店的鸡形目鸟类的骨组织结构虽然同样具有内环、外环和中间的哈弗氏骨板, 但各骨板间的界限比较模糊。它的哈弗氏管的内径也明显小于前两种现生鸟类的。

如上所述, 尽管略有差异, 红嘴鸥、白额鸢和周口店的鸡形目鸟类的股骨横切面组织结构都是由内环骨板、外环骨板和哈弗氏骨板共同组成, 是现生鸟类股骨横切面微观组织结构的基本特征(Chinsamy, Chiappe, and Dodson, 1994, 1995)。

### 2.2 孔子鸟股骨横切面骨组织结构(图版 I, 4; II, 1—4)

在较低的放大倍数下, 孔子鸟股骨横切面骨组织结构也主要由3个部分组成: 内环骨

板、外环骨板及中间的哈弗氏骨板(图版 I, 4)。

外环骨板只含有极少量的、腔隙也非常狭小的孔隙。外环骨板的绝大部分都是由排列非常有序的胶原纤维和沉积在胶原纤维之间的骨盐构成,它们所形成的薄板状结构就是骨板。缺少各种腔隙和陷窝是外环骨板的一个主要特征。该板层外侧即为外周休止线(图版 II, 1)。

在中间的哈弗氏骨板区域可见有大量的哈弗氏系统:既有清楚的、处于中央的哈弗氏管,也有外周的、呈同心圆状排列的同心层骨板。同时,在该层也可见到部分与骨干纵轴呈垂直方向的管道结构——弗克曼氏管,它与纵行走向的哈弗氏管相连通。

在哈弗氏骨板和内环骨板之间有较为明显的一条分界(图版 II, 2)。在外侧即为富含脉管的哈弗氏骨板层,内侧的内环骨板缺少类似哈弗氏管的脉管结构,留有少量的、孔径也相对非常细小的管道结构。

在较高的放大倍数下,可清楚看到哈弗氏骨板的哈弗氏管。这些哈弗氏管的大小和形状都不一样,大的要比小的大数倍之多。在几个骨单位之间,有一些残余的板层结构,它们是被侵蚀后的骨单位——间骨板(interstitial lamella)。也可见到与骨干纵轴呈垂直走向的弗克曼氏管,该管道具有 3 个明显的枝杈(图版 II, 3)。

在靠近内环骨板和哈弗氏骨板间界限边缘,一些哈弗氏骨板的骨单位有明显的被内环骨板侵压的痕迹。同时,内环骨板的厚度变异也较大。

如上所述,孔子鸟股骨的微观组织结构与现生种类的非常相似。

### 3 讨论

#### 3.1 现存陆生脊椎动物的长骨骨组织的两种类型

现存陆生脊椎动物的长骨骨组织结构一般可以分成两类,一类以哺乳类、鸟类为代表;另一类以爬行类为代表。

##### 3.1.1 现生哺乳动物和鸟类长骨的骨组织

这类组织主要由内环骨板、外环骨板和中间的哈弗氏骨板构成。哈弗氏骨板中的哈弗氏系统的存在是这类动物的主要特征,纤维板骨(fibro-lamellar bone)是这类组织的主要组成。这种骨组织类型代表了一种较快的、恒定的骨骼生长方式和确定性生长。外周休止线的存在表明这类动物在进入成熟期之后,骨骼的总体生长处于一种几乎停滞的状态。这种骨组织类型是同这类动物较快的生长速率、较高的新陈代谢水平相适应的。

##### 3.1.2 现生爬行动物的长骨骨组织

这类骨组织缺少哈弗氏系统,主要由板状带骨(lamellar-zonal bone)构成,这种组织类型是胶原纤维缓慢和比较有序沉积的结果。长骨骨壁由一系列环(annulus)、带(zone)和生长停滞线(line of arrested growth)构成。一组环、带和生长停滞线形成了非常类似于木本植物的一个年轮(growth ring),代表了一个年生长周期。较宽的带状结构形成于温度适宜、食物充足的季节;较窄的环和生长停滞线形成于环境较差或非常恶劣的季节。这种年轮状的构造一方面代表了这种动物缓慢的、节律性的、非限定性的生长方式;另一方面也说明了这类动物较低的新陈代谢水平和较高的对外界环境的依赖性。许多现生的爬

行动物是终生生长的 (Chinsamy and Dodson, 1995)。

### 3.2 研究材料——孔子鸟的股骨

孔子鸟股骨的骨壁相对较厚,中央髓腔相对较小,只占骨干直径的 48%,都明显小于红嘴鸥、白额鹳和周口店的鸡形目鸟类(表 1)。所以,与现代鸟类相比,孔子鸟的骨骼显得比较粗壮,即使可以脱离地面飞行,也可能只具有较低的飞行能力。

表1 股骨直径、壁厚及股骨内、外径比率(单位:mm)

Table 1 Measurements of diameter (B), thickness of bone wall of femur, and the diameter of medullary cavity of femur (A), and their ratio (A/B) (in mm)

	红嘴鸥 <i>Larus ridibundus</i>	白额鹳 <i>Puffinus leucomelas</i>	周口店鸡形目鸟 Galliformes	孔子鸟 <i>Confuciusornis sp.</i>
股骨直径 diameter of femur (B)	3.75	3.44	5.79	2.48*
股骨壁厚 thickness of bone wall	0.35	0.53	0.37	0.64
髓腔直径 diameter of medullary cavity (A)	3.05	2.39	5.05	1.2
内径/外径比率 (A/B)	0.81	0.69	0.87	0.48

\*孔子鸟股骨直径由股骨平面宽度的2倍换算而成,即直径=平面宽度 $\times 2 \div \pi$

femur diameter of *Confuciusornis*=staved plane breadth  $\times 2 \div \pi$

### 3.3 孔子鸟股骨的骨组织结构

孔子鸟的骨组织结构非常类似于现生鸟类的,与现生鸟类有着相似的内环骨板、外环骨板和中间的哈弗氏骨板。

孔子鸟的哈弗氏系统同样是由中间的哈弗氏管和周围呈筒状排列的多层板骨构成。哈弗氏管的管径变异较大,具有较大的哈弗氏管的骨单位正处于骨单位形成时期,衬在管壁上的成骨细胞沿管壁逐层形成同心圆排列的骨板层。由于同心圆骨板层的逐渐加厚,哈弗氏管的腔径也随之缩小,直至停止生长,最后被新的骨单位所替代。

哈弗氏骨板内不完整的骨单位——间骨板是哈弗氏系统被破骨细胞(osteoclast)吸收的产物。

在哈弗氏骨板和内环骨板分界处,哈弗氏骨板内的一些骨单位有被内环骨板侵压的痕迹,这说明了内环骨板的次生性,它是在哈弗氏骨板形成之后形成的,内环骨板是向外扩张生长的。

孔子鸟股骨的骨组织结构同现生鸟类的骨组织结构的相似性,说明了孔子鸟和现代鸟类在骨骼生长方式、生长速度、和对外界环境较小的依赖等方面的相似性。较快的生长

方式和较强的内调节能力是具有较高新陈代谢水平的内温动物的基本特征。所以,从孔子鸟的骨组织结构与现生鸟类的相似性推测,孔子鸟具有较快的生长方式和较高的新陈代谢水平。

### 3.4 孔子鸟股骨的骨组织结构与巴塔哥尼亚鸟和反鸟 PVL-4237 的差异及意义

对产于南美的巴塔哥尼亚鸟 (*Patagopteryx deferrariisi*) 和一种反鸟 (*Enantiornithes indet.*, 标本编号 PVL-4237) 的研究表明,这两种鸟类的股骨骨组织具有类似现生爬行动物的生长环 (growth ring), 具有多条生长停滞线。这两种鸟具有快速生长和缓慢生长的交替过程, 表明它们具有缓慢的生长速率, 不同于现代鸟类, 其代谢水平介于内温动物与外温动物之间 (Chinsamy, Chiappe, and Dodson, 1994, 1995)。

撇开有关巴塔哥尼亚鸟和反鸟 PVL-4237 与始祖鸟和孔子鸟在系统关系上的争论 (Walker, 1981; Martin, 1983, 1987; Feduccia, 1996; Alvarenga and Bonaparte, 1992; Alvarenga, 1993; Chiappe and Calvo, 1994; Cracraft, 1986, 1988), 巴塔哥尼亚鸟和反鸟 PVL-4237 为白垩纪晚期鸟类 (Chinsamy, Chiappe, and Dodson, 1994, 1995), 在时代上要远晚于孔子鸟; 反鸟是一类具有飞行能力的鸟类 (Chinsamy, Chiappe, and Dodson, 1995); 孔子鸟的骨骼组织结构要远比巴塔哥尼亚鸟和反鸟 PVL-4237 进步, 但是孔子鸟骨骼的外部形态特征要比它们原始得多, 这说明:

1) 鸟类骨骼内部的组织结构与骨骼外部的形态特征的进化是不同步的。对孔子鸟而言, 骨骼外部的形态特征比骨骼内部的组织结构更具有保守性, 前者演化速度要低于后者的演化速度; 对巴塔哥尼亚鸟和反鸟 PVL-4237 而言, 骨骼内部组织结构的演化速度要低于骨骼外部形态的演化速度。反鸟的这种内部组织结构乃至生理上的演化滞后可能是这一支系在中生代后期灭绝 (周忠和, 1995) 的一个原因。

2) 孔子鸟、巴塔哥尼亚鸟和 PVL-4237 的共同祖先 (如果有一个共同祖先) 应是一种生长速率较低且不恒定的外温动物 (因为外温这个生理特征比内温更要原始)。鸟类内温的起源要晚于鸟类的系统起源, 这不同于鸟类的内温机制来源于其恐龙祖先的结论 (Bakker, 1986)。这一推断也间接说明鸟类的内温机制的建立与恐龙 (如果是, 或部分内温动物) 的内温机制的建立并无直接联系, 它们是各自独立发展的。这一结果与 Chinsamy, Chiappe 和 Dodson (1995, 1994) 的结论部分相同。

## 4 结论

虽然孔子鸟股骨的中央髓腔相对较小, 骨骼显得粗壮, 但它的骨组织结构非常类似于现生的飞行鸟类。孔子鸟应具有较高而恒定的生长率, 在其生活时代可能已进化到较高的新陈代谢水平, 这种较高的代谢水平的起源要晚于鸟类的系统起源。鸟类骨骼内部组织结构与骨骼外部形态的进化是不同步的。反鸟内部组织结构乃至生理上的演化滞后可能是这一支系在中生代后期灭绝的一个原因。孔子鸟、巴塔哥尼亚鸟和反鸟 PVL-4237 的共同祖先应是一生长速率较低而不恒定的较原始的爬行动物。

**致谢** 赵资奎、董枝明、金帆、王元青等先生审阅、修改文稿并提出中肯建议, 中国科学院

资源与生态环境研究重大项目——辽西热河生物群综合研究、国家自然科学基金项目——辽宁侏罗纪鸟类群及鸟类起源和飞行起源提供部分资助,作者致以衷心感谢!

### 参 考 文 献

- 周忠和, 1995. 辽宁早白垩世一新的反鸟化石. 古脊椎动物学报, 33(2): 99—113
- 郑光美, 1995. 鸟类学. 北京: 北京师范大学出版社. 202—219
- 侯连海, 周忠和, 顾玉才等, 1995. 侏罗纪鸟类化石在中国的首次发现. 科学通报, 40(8): 726—729
- 侯连海, 1985. 周口店第一地点鸟类化石. 见: 吴汝康等编. 北京猿人遗址综合研究. 北京: 科学出版社, 114—118
- 高 玮, 1992. 鸟类分类学. 长春: 东北师范大学出版社. 61—148
- Alvarenga H M F, 1993. A origem das aves e seus fósseis. In: de Andrade M A ed. A vida das aves. Belo Horizonte: Littera Maciel. 16—26
- Alvarenga H M F, Bonaparte J F, 1992. A new flightless land bird from the Cretaceous of Patagonia. In: Campbell K E ed. Papers in avian paleontology, honoring Pierce Brodkork, Vol.36. Los Angeles: Natural History Museum of Los Angeles County. 51—64
- Bakker R T, 1986. The dinosaur heresies: new theories unlocking the mystery of the dinosaurs and their extinction. New York: William Morrow. 81—85
- Caple G, 1983. The physics of leaping animals and the evolution of preflight. *Am. Nat.* 121(4): 455—476
- Chiappe L M, Calvo J O, 1994. *Neuquenornis volans*, a new late Cretaceous bird (Enantiornithes: Avisauridae) from Patagonia, Argentina. *J. Vert. Paleontol.* 14(3): 230—246
- Chinsamy A, Chiappe L M, Dodson P, 1994. Growth rings in Mesozoic birds. *Nature*, 368: 196—197
- Chinsamy A, Chiappe L M, Dodson P, 1995. Mesozoic avian bone microstructure: physiological implications. *Paleobiology*, 21(4): 561—574
- Chinsamy A, Dodson P, 1995. Inside a Dinosaur Bone. *Am. Sci.* 83(2): 174—180
- Cracraft J, 1986. The origin and early diversification of birds. *Paleobiology*, 12(3): 383—399
- Cracraft J, 1988. The major clades of birds. In: Benton M J ed. The phylogeny and classification of the tetrapods. vol. 1: Amphibians, Reptiles, Birds. Oxford: Clarendon Press. 339—361
- Davis P G, 1995. Fossilization of feathers. *Geology*, 23(9): 783—786
- Feduccia A, 1996. The Origin and Evolution of Birds. New Haven and London: Yale University Press. 1—138
- Feduccia A, 1979. Feathers of *Archaeopteryx*: asymmetric vanes indicate aerodynamic function. *Science*, 203: 1021—1022
- Griffiths P G, 1996. The isolated *Archaeopteryx* feather. *Archaeopteryx*, 14: 1—26
- Hecht M K, Tarsitano S, 1983. *Archaeopteryx* and its paleoecology. *Acta. Palaeontol. Pol.*, 28: 133—136
- Hou L H, 1994. The discovery of Mesozoic birds in China and its significance. *J. Ornithol.* 135: 34
- Hou L H, 1995. Morphological comparisons between *Confuciusornis* and *Archaeopteryx*. In: Sun A L, Wang Y Q eds. Sixth Symposium on Mesozoic Terrestrial Ecosystems and Biota. Beijing: China Ocean Press. 193—201
- Hou L H, Zhou Z H, Martin L D *et al.*, 1995. A beaked bird from the Jurassic of China. *Nature*, 377: 616—618
- Martin L D, 1983. The origin and early radiation of birds. In: Bush A H, Clark Jr G A eds. Perspectives in ornithology. New York: Cambridge University Press. 291—338
- Martin L D, 1984. The origin of birds and of avian flight. In: Current Ornithology, vol. 1. New York: Plenum Press. 105—129
- Martin L D, 1987. The beginning of the modern avialian radiation. In: Mourer-Chauviré C ed. L'évolution des oiseaux d'après le témoignage des fossiles vol. 99. Lyon: Documents des Laboratoires de Géologie Lyon.

9—19

- Ostrom J H, 1970. *Archaeopteryx*: Notice a "new" specimen. *Science*, **170**: 537—538
- Ostrom J H, 1974. *Archaeopteryx* and the origin of flight. *Quart. Rev. Biol.*, **49**: 27—47
- Ostrom J H, 1975a. On the Origin of *Archaeopteryx* and the ancestry of birds. *Proc. Centre Nat. Rech Sci.*, **218**: 519—532
- Ostrom J H, 1975b. The origin of birds. In: Donath F A ed. *Ann. Rev. Earth Planet. Sci.*, 3. Calif: Palo Alto. 55—77
- Ostrom J H, 1979. Bird flight: How did it begin?. *Am. Sci.*, **67**(1): 46—50
- Paul G S, 1984. The hand of *Archaeopteryx*. *Nature*, **310**: 732
- Thulborn R A, 1984. The avian relationships of *Archaeopteryx*, and the origin of birds. *Zool. J. Linn. Soc.* **82**: 119—158
- Walker C A, 1981. New subclass of birds from the Cretaceous of South America. *Nature*, **292**: 51—53
- Wellnhofer P, 1988. A new specimen of *Archaeopteryx*. *Science*, **240**: 1790—1792
- Yalden D W, 1971. The flying ability of *Archaeopteryx*. *Ibis*, **113**: 349—356
- Yalden D W, 1984. What size was *Archaeopteryx*. *Zool. J. Linn. Soc.* **82**: 177—188

## OSTEOLOGICAL MICROSTRUCTURE OF *CONFUCIUSORNIS*: PRELIMINARY REPORT

ZHANG Fucheng HOU Lianhai OUYANG Lian

(*Institute of Vertebrate Paleontology and Paleoanthrology, Chinese Academy of Sciences Beijing 100044*)

**Key words** *Confuciusornis*, microstructure, physiology

### Summary

This paper reports the preliminary result of the study on osteological microstructure of *Confuciusornis*, and interprets its physiological implications in comparison with that of some modern birds.

Materials used in this study include femurs of (a) *Larus ridibundus*, a modern sea bird of Laridae, (b) *Puffinus leucomelas*, a modern sea bird of Procellariidae, (c) a Middle Pleistocene galliform from Zhoukoudian, and (d) *Confuciusornis* sp., a Late Jurassic—Early Cretaceous archaeornithine from the Yixian Formation, western Liaoning.

The transverse section of a femur shows that a bony wall surrounds a medullary cavity. The bony wall of femur of *Confuciusornis* sp. is thicker than that of *Larus ridibundus*, *Puffinus leucomelas*, and a galliformes from Zhoukoudian, which indicates that *Confuciusornis* might only have very weak flying ability.

All the materials are prepared for observation and photography under scanning electronic microscope.

**Result and Discussion** The microstructure of femoral compacta of *Confuciusornis*



sp. is very similar to those of modern birds, including *Larus ridibundus*, *Puffinus leucomelas*, and a galliform from Zhoukoudian. In general, femoral compacta of all the four kinds of birds studied here consist of three parts: outer circumferential lamellae, the Haversian lamella, and inner circumferential lamellae.

Outer circumferential lamellae of *Confuciusornis* are composed of the parallel lamellae which parallel the surface of the shaft of the femur. The parallel lamellae form the so called rest lines. There are a few canals in the lamellae, which are much smaller than the Haversian canals in the Haversian lamellae.

Inner circumferential lamellae of *Confuciusornis* are also composed of the parallel lamellae, and contain a few very small canals. Thickness of the inner circumferential lamellae varies. The obvious depressions of the inner circumferential lamellae to osteons in the Haversian lamella indicate their secondary formation.

Haversian lamella of *Confuciusornis* contain a lot of Haversian systems. In the center of a Haversian system exists a Haversian canal, through which are many blood vessels and nerves. The Haversian canals are connected by Volkmann's canals, which carry blood vessels and nerves into the medullary cavity from outside of the bone. Surrounding the Haversian canal are concentric cylinder lamellae, which form fibers and bone salt. The lacunae (with osteocytes in living animals) are located in these lamellae. Haversian systems are destroyed by osteoclast. Their remains become interstitial lamellae in the Haversian lamellae.

The microstructure of femur of *Confuciusornis* sp. is similar to that of modern birds, and differs from that of *Patagopteryx deferrariisi* and a Late Cretaceous Enantiornithine (PVL-4237) from Argentina in lack of the growth rings (Chinsamy, Chiappe and Dodson, 1994, 1995). The age of *Confuciusornis* is earlier than that of *Patagopteryx deferrariisi* and the enantiornithine (PVL-4237), while the microstructure of the former is more advanced than that of the latter's. These suggest that:

- 1) The developmental pattern of microstructure and morphology in different kinds of birds is different. In *Confuciusornis*, the microstructure developed earlier than the morphology, while the microstructure developed later than the morphology in *Patagopteryx deferrariisi* and the enantiornithine (PVL-4237). The histologically or physiologically evolutionary lag of the Enantiornithes may be one of the reasons of their extinction in the Late Mesozoic.

- 2) The common ancestry of birds, specially of *Confuciusornis* and the Enantiornithes, is one kind of ectotherms.

- 3) Like modern birds, *Confuciusornis* has a high growth rate, and is possibly an endotherm.

## 图版说明 (Explanations of plates)

## 图版 I (Plate I)

(标尺 scale bar 均为 100 $\mu$ m; 放大倍数均为  $\times 230$ )

a-b: 外环骨板 (outer circumferential lamellae); b-c: 哈弗氏骨板 (Haversian lamellae); c-d: 内环骨板 (inner circumferential lamellae)

## 1. 红嘴鸥股骨横切面

The transverse section of the femur of *Larus ridibundus*

## 2. 白额鹳股骨横切面

The transverse section of the femur of *Puffinus leucomelas*

## 3. 周口店更新世鸡形目鸟类股骨横切面

The transverse section of the femur of a galliform bird from Zhoukoudian

## 4. 孔子鸟股骨横切面

The transverse section of the femur of *Confuciusornis* sp.

## 图版 II (Plate II)

(标尺 Scale bar 均为 10 $\mu$ m)

## 1. 孔子鸟股骨横切面, 示哈弗氏骨板和外环骨板的界限 (a)

The transverse section of the femur of *Confuciusornis*, showing the boundary (a) between outer circumferential lamellae and Haversian lamella,  $\times 400$ 

## 2. 孔子鸟股骨横切面, 示哈弗氏骨板和内环骨板的界限 (a), 内环骨板对哈弗氏骨板中骨单位的侵压 (b) 及弗克曼氏管 (c)

The transverse section of the femur of *Confuciusornis*, showing the boundary (a) between inner circumferential lamellae and Haversian lamella, the depressions (b) to the osteon in the Haversian lamellae, by inner circumferential lamellae, which indicates the secondary formation of inner circumferential lamellae, and the Volkmann's canal (c),  $\times 500$ 

## 3. 孔子鸟的与骨干纵轴呈垂直走向的弗克曼氏管, 该管道具有 3 个明显的枝杈 (a)

The Volkmann's canal with branches (a), in the compacta of *Confuciusornis*,  $\times 1000$ 

## 4. 孔子鸟骨单位横切面, 中央为哈弗氏管 (a), 外周为同心圆状排列的骨板 (b)

Osteons of *Confuciusornis*, a: Haversian canal; b: lamella,  $\times 500$



