

# 关节的生物力学研究

## I. 脊椎动物骨关节面的等高线图示

张人骧 兰祖云 张鸿姿 鹿鸣

(北京钢铁学院)

### 一、动物关节的特点

动物的骨与骨之间由纤维结缔组织、软骨组织或骨组织等相连组成骨连结。将骨骼作为构件分析,两骨关节面直接接触并能产生一定型式相对运动的联结组成运动副,在肌肉收缩的牵引力作用下产生运动。骨连结的原始形式出现在水生的低级脊椎动物中,但其运动幅度较小。而陆栖脊椎动物由于陆地生活环境不同于水中,运动较复杂。在骨与骨间的结缔组织中出现了腔隙,它是在直接连结的基础上分化发展而形成的间接连结,间接连结是骨连结的高级形式,又称动关节。

动物的动关节与一般机构中的运动副有明显的不同。动物的骨骼是靠肌肉带动,作非绕固定点的复杂运动(也有只作简单运动的);它可以随意变化运动周期、频率、幅度和方向,并承受多变的负荷;其运动过程滚动与滑动并存(也有单一的);它无须外加润滑脂而具备自润滑的特点;其摩擦系数小,因而效率高;生物具备自生长能力,如无特殊情况可终生使用。而一般机构中的运动副多为作简单运动,按照固定规律重复设计规定的运动;并多为单一的滚动或滑动;在工作中必须经常注入润滑脂以减小摩擦系数从而减少磨损,增加使用寿命。而且它们无自生长能力,因此无论如何总是要报废更换的。因此,不能用机构中的运动副的一般概念理解和解释动物关节的特征。

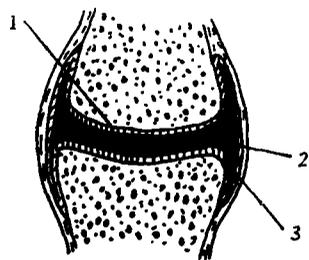


图1 关节的主要结构  
1 关节软骨, 2 滑膜层,  
3 纤维层

从进化角度看,人是动物进化的最高阶段,其关节的主要结构为关节面、关节囊和关节腔。在相关的骨关节面上覆有与其形状一致的关节软骨,使关节面平滑并富有弹性。关节囊位于关节的四周(图1)。关节囊分内外两层。外层称纤维层,由致密纤维结缔组织构成;内层称滑膜层,薄而柔润,与纤维层紧密相贴,衬附在关节囊的内面并移行于关节软骨的周缘。滑膜能分泌滑液以减少摩擦,关节囊封闭着关节面间的缝隙形成关节腔,腔内存有滑液。

关节除具备以上主要结构外,某些关节还可能有滑膜皱壁、滑液囊、关节孟缘、关节内韧带或关节内软骨等以增

加关节的灵活性和稳定性。

本文于1980年10月收到。

一般关节由两骨连结,如由三个以上的骨组成则称复合关节,例如人的跗蹠关节,挠腕关节。此外,有的关节在结构上是独立的,但必须同时进行活动,此种关节称为联合关节,例如人的下颌关节。

动物的关节从运动范围进行分析可以分为平面运动副和空间运动副,而某些关节迴转瞬心是变化的,是一种特殊的结构<sup>[1]</sup>。

动物关节的主要功能是保持应有的运动并起缓冲作用。它的发生决定于关节的运动机能和肌肉的活动。关节的运动形式与关节面的形状有着严格的相互关系,因此必须重视对动物骨关节面的研究。

## 二、动物骨关节面的等高线图示

对动物骨关节曲面的理论分析是了解动物关节曲面的进化、建立力学模型和进行仿生机构学研究的基础<sup>[2]</sup>,这就为生物力学工作者提出了新的课题。

由于动物骨关节面比较复杂,至今尚未见到完整的数学表达式,为此建议采用等高线图示表达。

对于任一动物关节曲面,可用方程(1)描述

$$F(x, y, z) = 0 \quad (1)$$

当  $z$  为常数时,则

$$F(x, y, c) = 0 \quad (2)$$

式(2)在  $xoy$  平面中表示了一族等高线,为此我们通过实验得到了脊椎动物骨关节曲面的 Moiré 等高线图示。因而可反映骨关节曲面的大体情况。有关 Moiré 法的应用可见文献 [2]—[6]。

我们曾对鱼类中的花鲢鱼,两栖类中的蛙,爬行类中的扬子鳄、眼睛鳄、湾鳄,鸟类中的黑天鹅,哺乳类中的非洲土豚、小熊猫及金丝猴等十余种脊椎动物的某些关节进行了实验。下面介绍其中部分 Moiré 等高线图示。

鱼纲动物终生栖息于水中,其脊椎的每一椎体前、后面均为凹形。图版 II 照片 1 为花鲢鱼脊椎骨关节面。

两栖纲具有初步适应陆地生活的躯体结构,四肢侧出,长骨与地面间夹角小。蛙的后肢具有较强的活动能力,其膝关节面参见图版 II 照片 2。

爬行纲具有四足动物的基本特征,头部有较大灵活性,前、后肢的支撑能力及运动功能也显著提高。鳄鱼的某些骨关节面参见图版 II 照片 3。

鸟类适应于飞翔的生活方式,前肢为翼,后肢强健。其四趾由于胫跗骨及跗蹠骨组成的骨块关节及骨骼的延长(弹性杆件长度增加)故能增加起飞和降落时的弹性。黑天鹅股骨膝关节面参见图版 II 照片 4。

哺乳纲动物具有陆地快速运动的能力,其前肢的肘关节向后转,后肢的膝关节向前转,使四肢紧贴于躯体下方,从而大大提高支撑能力和弹跳力。某些动物的膝关节面参见图版 II 照片 5。

根据 Moiré 等高线图示,可了解各种动物各关节曲面的大致情况。

等高线上任一点  $(x, y)$  的法线方程为

$$\frac{\partial F(x, y, c)}{\partial x}(X - x) + \frac{\partial F(x, y, c)}{\partial y}(Y - y) = 0 \quad (3)$$

式中,  $F(x, y, c) = 0$ ,  $(X, Y)$  为法线的流动坐标. 当等高线族上所有点的法线汇交于一点时, 其关节面才为球面(绕固定点迴转), 否则为非球面. 人体髋关节也是非绕固定点运动的生物铰<sup>[2]</sup>. 等高线的对称性决定关节曲面的对称性, 其级数及形状取决于曲面特征.

### 三、结 论

在对脊椎动物骨关节曲面的研究中, 我们可以得到如下结论:

1. 应用 Moiré 等高线图示可清楚的表达动物骨关节面的形状, 便于深入了解骨关节及其运动特征;
2. 此种在不破坏骨关节面的情况下再现关节曲面的形状, 对于了解动物骨关节面的进化, 建立生物力学模型和进行仿生机构的研究都将是有价值的;
3. 关节的 Moiré 等高线图示可作为生物关节力学研究及工程设计中的一项新内容.

本工作得到北京大学生物系动物学实验室、中国科学院古脊椎动物与古人类研究所标本室, 中国科学院动物研究所脊椎分类室及北京师范大学生物系动物学实验室的大力支持, 谨致谢意.

### 参 考 文 献

- [1] 张人骥, 人体膝关节运动轨迹的分析, 北京钢铁学院 (1979).
- [2] 张人骥, 兰祖云、张鸿姿, 力学学报, 3 (1981), 280—286.
- [3] Meadows, D. M. et al., *Appl. Opt.*, 9, 4 (1970), 942—947.
- [4] Takasaki, H., *Appl. Opt.*, 9, 6 (1970), 1467—1472.
- [5] 芦泽玖美, 家政学杂志 29 7(1978), 485—490.
- [6] 铃木正根、铃木喜義, 计装, 20, 226 (1979), 979—986.

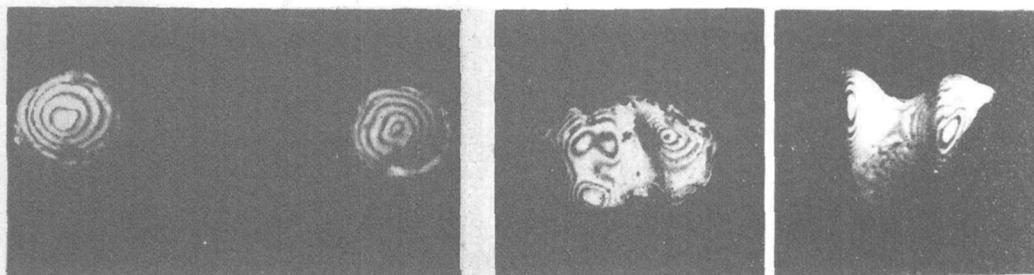
## BIOMECHANICAL RESEARCH OF JOINT I. THE SURFACE CONTOURS OF JOINT OF VERTEBRATE

Zhang Renxiang Lan Zuyun Zhang Xongzi Lu Ming  
(Peking University of Iron and Steel Technology)

### Abstract

This paper has shown the Moiré contour line systems of some joint surfaces of vertebrates, which includes fish of the teleost frog of the amphibian, crocodile of the reptile, black swan of the bird, and orycteropodidae. Lesser panda and golden-haired monkey of the mammal class.

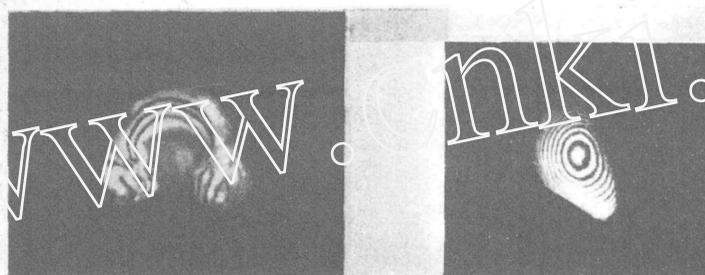
These surface contours of vertebrates are not only important in the theoretical research of biomechanics, but very useful for the study of biological evolution and artificial joint as well.



照片 1 花鲢鱼脊椎骨关节面 Moiré 等高线

照片 2 蛙的膝关节面 Moiré 等高线 (左) 桡骨 (右) 股骨

照片 4 黑天鹅股骨膝关节面 Moiré 等高线



(上左)

(上右)



(下中)

照片 3 鳄鱼的骨关节面 Moiré 等高线(上左)眼睛鳄寰椎 (上右) 湾鳄股骨头 (下中) 扬子鳄下颌关节



照片 5 哺乳纲动物骨关节面 Moiré 等高线

(左) 非洲土豚桡骨腓骨膝关节面 (中) 大熊猫桡骨膝关节面 (右) 金丝猴股骨膝关节面