

生物力学中人体关节运动规律的一种实验方法

兰祖云 张人骧 张鸿姿

(北京钢铁学院)

提要 本文介绍研究人体关节运动规律的一种离体实验方法及原理^[1]。按照此种方法可以测量出生物关节的运动规律。这对建立生物力学模型和生物工程设计都是必需的。根据我们的实验,人体肘关节和膝关节都不是通常的运动付,而是特殊的生物铰^[1,2]。

骨骼与关节是生物力学研究的重要对象之一,近年来国外对骨骼与关节的研究已取得很大进展。对于人体关节的研究不仅是发展生物力学基本理论及发展仿生机构学的需要,而且直接涉及到人工关节及骨骼的设计能否完全恢复人体运动规式。

人体运动关节根据功能的不同,可分为一个自由度、两个自由度和多自由度。自 1971 年开始,我们曾对人体肩、肘、腕、膝、踝等关节进行过研究。在人体中的一些关节并不是绕固定点(或轴)作迴转运动的一个自由度的运动付。为了了解人体关节的实际运动规律必须进行实验,由于在生物体自由运动时测量某一骨骼的运动是困难的,故至今尚未见到理想的生物关节运动规律的测试方法及实测结果。下面介绍一种离体实验方法及原理^[1],用以测量单一关节的运动规律。

由于关节运动规律直接反映于相连接骨骼的变化,故取完整欲测关节的离体(骨骼标本或新截肢体)。组成关节的其中一骨牢固的固定在予制板上,而具有另一关节面的对应骨骼应保持自然位置,并应在外力作用下无阻碍地进行运动。从图版 III 照片 1 人体右上肢骨骼标本可清晰地看出尺骨固定于予制板上,并在其上有两个规则的金属埋藏点 A 、 B ,而肱骨可运动,其上亦埋藏两个金属点 C 、 D 。此四个分别埋藏于骨骼上的规则金属点 A 、 B 、 C 、 D 即为实际测量标志,并将其放置在由笛卡尔坐标系构成的空间屏幕中。

图版 III 照片 2(左)为人体右上肢骨骼标本实验时照片,图版 III 照片 2(右)为人体右膝关节标本,其股骨固定,胫骨转动。在股骨与胫骨上分别埋藏两个规则金属标志点。空间屏幕是由 X 光底片构成,由镜头与投射面平行的 X 光照射, X 光底片应垂直放置并尽量靠近测量物,标志点距光源及屏幕的距离应选择适当,并应放置于有利于获得测量数据的位置。

由被测物体的位置参数以及两个正交投射面在联结关节的两骨间相对运动时,金属规则点间相对位置变化的投影长度(见图版 III 照片 3)可充分表达其运动关系。图版 III 照片 3(左)为实际拍摄的右肘关节 X 光片,图版 III 照片 3(右)为实际拍摄的右膝关节

本文于 1980 年 8 月收到。

X 光片图例.

当标志点与测量参数选择适当, 则可从 X 光底片直接测量数据. 如以 AB 为一固定坐标轴, 而以过 A 点与 AB 垂直的平面并与原坐标轴 Z 轴相交点的联线为另一坐标轴, 则新坐标轴的位置为

$$\begin{pmatrix} I \\ J \\ K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi \cos \phi - \cos \theta \sin \psi \sin \phi & \sin \psi \cos \phi + \cos \theta \cos \psi \sin \phi & \sin \theta \sin \phi \\ -\cos \psi \sin \phi - \cos \theta \sin \psi \cos \phi & -\sin \psi \sin \phi + \cos \theta \cos \psi \cos \phi & \sin \theta \cos \phi \\ \sin \theta \sin \psi & -\sin \theta \cos \psi & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i \\ j \\ k \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中, (i, j, k) 为 $o-xyz$ 坐标系中各轴上的单位矢量; (I, J, K) 为 $O-XYZ$ 新坐标系中各轴上的单位矢量; θ, ψ, ϕ 为欧拉角.

图 1 为在 $o-xyz$ 坐标系中实验整理后得到的图版 III 照片 3 右肘关节与图版 III 照片 3 右膝关节标志点 C 的运动轨迹.

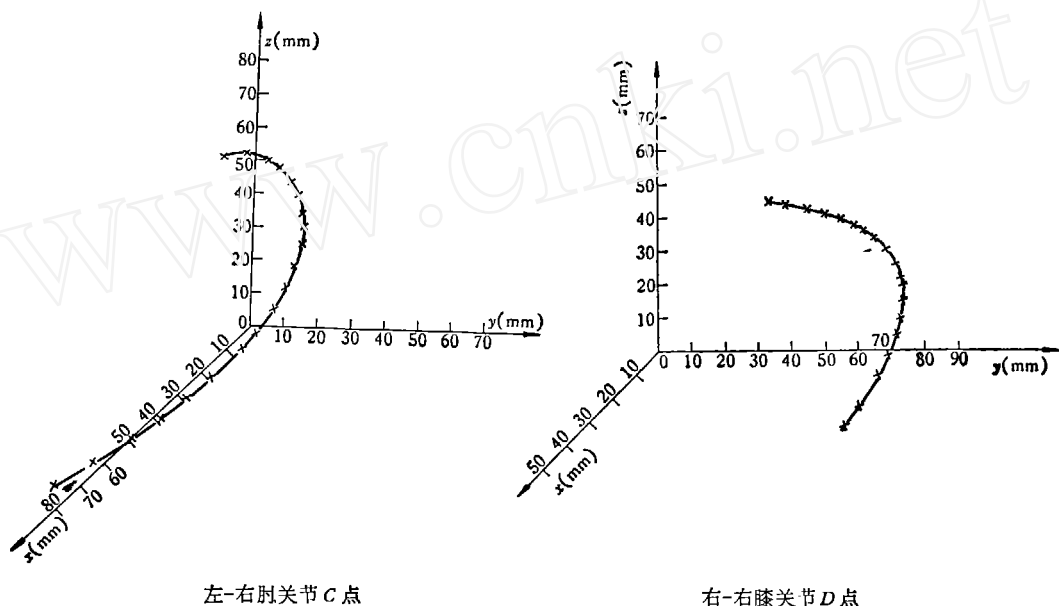


图 1 实测关节标志点运动轨迹

当运动的骨骼转动时 CD 将随之运动, 设 $\{l_p, m_p, n_p\}, \{l_Q, m_Q, n_Q\}$ 为 CD 任意两个不同位置在 $o-xyz$ 坐标系中的方向数, 相应的 C 之坐标为 (x_p, y_p, z_p) 和 (x_Q, y_Q, z_Q) . 而 $\{l_0, m_0, n_0\}$ 为 CD 的原始位置的方向数, 此时 C 的坐标为 (x_0, y_0, z_0) , 又设矩阵

$$A = \begin{pmatrix} l_0 & m_0 & n_0 \\ l_p & m_p & n_p \\ l_Q & m_Q & n_Q \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} x_p - x_0 & y_p - y_0 & z_p - z_0 \\ x_Q - x_p & y_Q - y_p & z_Q - z_p \\ x_0 - x_Q & y_0 - y_Q & z_0 - z_Q \end{pmatrix}$$

于是 CD 的运动状态可用如下方法判定:

1. 若 A 是个降秩矩阵, 则 CD 是在一个平面上运动;
2. 若 A 是个满秩矩阵, 则 CD 在三维空间中作非平面运动;
3. 如果对于任意实数 λ 和 μ 都使等式

$$\lambda \begin{vmatrix} i & j & k \\ l_0 & m_0 & n_0 \\ l_p & m_p & n_p \end{vmatrix} + \mu \begin{vmatrix} i & j & k \\ l_0 & m_0 & n_0 \\ l_Q & m_Q & n_Q \end{vmatrix} = 0$$

成立, 则 CD 的运动是个平行移动;

4. 如果只有当 $\lambda = \mu = 0$ 时, 等式

$$\lambda \begin{vmatrix} i & j & k \\ l_0 & m_0 & n_0 \\ l_p & m_p & n_p \end{vmatrix} + \mu \begin{vmatrix} i & j & k \\ l_0 & m_0 & n_0 \\ l_Q & m_Q & n_Q \end{vmatrix} = 0$$

才成立, 则 CD 的运动是个旋转运动;

5. 若 B 是个满秩矩阵, 则 CD 绕某一固定点运动;

6. 若 B 的秩小于 3, 则 CD 不是绕某一固定点运动.

当 CD 运动时沿坐标方向的偏角变化可用下面公式确定

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{l_2}{d_2} - \cos^{-1} \frac{l_1}{d_1} - \alpha_0 \quad (2)$$

$$\beta = \cos^{-1} \frac{m_2}{d_2} - \cos^{-1} \frac{m_1}{d_1} - \beta_0 \quad (3)$$

$$\gamma = \cos^{-1} \frac{n_2}{d_2} - \cos^{-1} \frac{n_1}{d_1} - \gamma_0 \quad (4)$$

式中, (l_1, m_1, n_1) , (l_2, m_2, n_2) 分别表示 AB 及 CD 在任意位置时在 $o-xyz$ 坐标系中的方向数; $\alpha_0, \beta_0, \gamma_0$ 为 AB 及 CD 在原始位置时相应方向角之差; α, β, γ 为 AB, CD 在任意位置时方向角之差相对于原始位置时的变化量; d_1, d_2 为 AB 及 CD 线段长度.

从肘关节实验数据中任取三个位置, 例如: $C(144.9, 68.5, 270), D(121, 77.8, 278)$; $C(155, 91, 269), D(138, 111, 274.5)$; $C(178, 106.8, 265.5), D(174, 133, 270)$. 则 CD 的方向数为

$$\begin{aligned} \{l_0, m_0, n_0\} &= \{-23.9, 9.3, 8\} \\ \{l_p, m_p, n_p\} &= \{-17, 20, 5.5\} \\ \{l_Q, m_Q, n_Q\} &= \{-4, 26.2, 4.5\} \\ A &= \begin{pmatrix} -23.9 & 9.3 & 8 \\ -17 & 20 & 5.5 \\ -4 & 26.2 & 4.5 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

它是个满秩矩阵, 故肘关节是在三维空间中作非平面运动.

$$\text{又 } B = \begin{pmatrix} 10.1 & 22.5 & -1 \\ 23 & 15.8 & -3.5 \\ -33.1 & -38.3 & 4.5 \end{pmatrix} \text{ 的秩小于 3, 故肘关节运动时不是绕某一固定点运}$$

动.

同样, 从膝关节实验中取出 $C(136.1, 242, 88), D(119, 266.5, 84.5)$; $C(88, 211, 93), D(58.6, 215.8, 89)$; $C(77, 190, 95), D(48, 183, 92)$ 三个位置, 则膝关节 CD 的方向数为

$$\{l_0, m_0, n_0\} = \{-17.1, 24.5, -3.5\}$$

$$\{l_p, m_p, n_p\} = \{-29.4, 4.8, -4\}$$

$$\{l_Q, m_Q, n_Q\} = \{-29, -7, -3\}$$

$$A = \begin{pmatrix} -17.1 & 24.5 & -3.5 \\ -29.4 & 4.8 & -4 \\ -29 & -7 & -3 \end{pmatrix}$$

它是个满秩矩阵, 又 $B = \begin{pmatrix} -48.1 & -31 & 5 \\ -11 & -21 & 2 \\ 59.1 & 52 & -7 \end{pmatrix}$ 的秩小于 3, 故膝关节是在三维空间中作非平面且不绕固定点运动。

从实测得到的坐标变化可以看出人体肘关节及膝关节都不是一般运动付, 而是特殊的联结, 它们的迴转瞬心是一条空间曲线, 故将其称为生物铰^[1]。

将生物关节的运动与骨关节面图示^[2]一起研究, 就能更深入地了解生物关节的特点。

本工作得到北京医学院解剖实验室、北京语言学院医务室、北京钢铁学院冶金机械实验室等单位的大力支持, 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、兰胡云、张鸿姿, 人工全髋关节的理论研究, 力学学报, 3(1981), 280—286.

AN EXPERIMENTAL METHOD TO STUDY OF THE HUMAN JOINT MOTION IN BIOMECHANICS

Lan Zuyun Zhang Renxiang Zhang Xongzi
(Beijing University of Iron and Steel Technology)

Abstract

This paper introduces an *in-vivo* experimental method and its principles in studying the motion of the human joint^[1]. By means of this method, it is possible to investigate the rules of motion of the bio-joint. This is necessary for the establishment of biomechanical model as well as of bio-engineering design. From our experiments, we found that the human knee joint and the human cubit joint are not usual moving pairs, but are special bio-hinge^[1,2].

www.cnki.net