

# 人体胫骨密质厚度变化的 X 线观察 及其生物力学机制的探讨

谢 雪 峰

(武汉体育学院, 武汉 430070)

## 摘 要

本文对 45 名男少年 (含普通组和从事不同运动的举重、跳跃组) 的胫骨正位和侧位 X 线片进行了观察、测量, 并对有关指标进行了统计分析。结果表明: 就胫骨密质厚度而言, 内侧壁大于外侧壁, 前嵴大于后壁, 这与人类的活动特点有关。并且举重运动员内侧壁增厚, 跳跃运动员前嵴增厚非常显著, 这是胫骨密质的运动性适应变化, 本文对其生物力学机制进行了探讨。

**关键词** 胫骨, 密质, 人体测量, 生物力学机制

胫骨处于人体下部, 在支撑体重上承担大负荷; 而在承受跳跃蹬地的地面支撑反作用力时, 它在所有长管状骨中又首当其冲。功能的重要性、特殊性及行使功能的经常性, 决定着胫骨形态结构的典型性及其运动性适应变化的敏感性和丰富性。因此, 学者们一直对胫骨的形态学和生物力学研究十分关注, 这见于不少著述 (靳仕信, 1979; 戴冠戎, 1985)。笔者本人 (1984) 也曾通过 X 线方法对胫骨形态进行过研究。有关胫骨的研究报道虽然较多, 但在胫骨密质厚度的特点, 动、静力运动条件下密质厚度适应性变化的力学机制等方面, 仍有不少课题值得探讨 (王以进, 1987)。本文正是从这一角度进行研究, 以期对胫骨乃至整个骨骼系统的全面研究, 尤其是诸多形态特点及生物力学机制的研究提供一定的参考。

## 1 材 料 和 方 法

观察对象为 16—17 岁的男少年, 共 45 名。其中 15 名为少年举重运动员, 15 名为少年田径跳跃运动员, 另 15 名为普通中学生。为了观察活体胫骨密质厚度的情况, 采用 X 线方法, 获取胫骨的正位和侧位 X 线片。用以测量和统计分析的材料来自这些观察对象起跳腿 (即在跳跃中的利肢) 的 X 线片, 所用测量工具为精度 0.02 毫米的游标卡尺。所测指标为胫骨正位片骨长自中点处内侧壁、外侧壁密质厚度及侧位片骨长自中点处前壁

(胫骨前缘——旧称胫骨前嵴)、后壁密质厚度。运用方差分析法对三组胫骨的有关数据进行差异显著性检验；继而对有显著差异的指标进行每两组间的均数差异性检验。

## 2 结果与分析

### 2.1 三组密质厚度均值及其方差分析

表 1 列出三组胫骨各部密质厚度均值，同时也列出三组间密质厚度的方差分析结果。

表 1 三组间胫骨密质厚度及其方差分析结果 (单位: 毫米)  
The thickness of substantia compacta of tibia among three groups  
and the result of the analysis of variance (Unit: mm)

指 标	组 别 统 计 量		普 通 组		举 重 组		跳 跃 组		方差分析 的 F 值	F 临界值	P
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S					
内 侧 壁 密 质 厚 度	5.77	1.10	7.35	1.32	6.67	1.35	5.6865	5.15**	<0.01		
外 侧 壁 密 质 厚 度	4.15	0.92	4.85	0.85	4.65	1.00	2.3391	3.22*	>0.05		
前 嵴 密 质 厚 度	9.41	1.21	11.55	1.34	12.82	1.64	22.3693	5.15**	<0.01		
后 壁 密 质 厚 度	5.29	0.69	7.07	1.09	7.77	1.36	20.89	5.15**	<0.01		

\* 表示在 0.05 置信水平上 F 的临界值。 \*\* 表示在 0.01 置信水平上 F 的临界值。

从表 1 可看到，无论是普通人，还是从事运动者，其胫骨内侧壁密质厚度都大于外侧壁，这与人体支撑负重的方式有关；而前嵴密质厚度都大于后壁，这主要是因为向前运动多于向后运动所致。这些特点在运动组尤其明显，我们将在后面讨论其生物力学机制。

从表 1 还可看到，除外侧壁外，其余部位的密质厚度，三组之间均有显著差异。

### 2.2 三组间有差异指标的两两比较

如上述，内侧壁、前嵴、后壁密质厚度三组间有显著差异，为了比较每两组之间的差异，我们进行了两两间的方差分析（表 2）。

表 2 三组间某些密质指标的两两比较结果  
The comparison of the thickness of substantia compacta among three groups

指 标	比 较	处 理 数	平 均 数 差 数	标 准 误 × Q 值	P
内 侧 壁 密 质 厚 度	普通: 举重	3	1.58	0.3260 × 4.37**	<0.01
	普通: 跳跃	2	0.9	0.3260 × 2.86*	>0.05
	举重: 跳跃	2	0.68	0.3260 × 2.86*	>0.05
前 嵴 密 质 厚 度	普通: 举重	2	2.14	0.3638 × 3.82**	<0.01
	普通: 跳跃	3	3.41	0.3638 × 4.37**	<0.01
	举重: 跳跃	2	1.27	0.3638 × 2.86*	<0.05
后 壁 密 质 厚 度	普通: 举重	2	1.78	0.2797 × 3.82**	<0.01
	普通: 跳跃	3	2.48	0.2797 × 4.37**	<0.01
	举重: 跳跃	2	0.7	0.2797 × 2.86*	>0.05

\*、\*\* 表示在相应处理数情况下，0.05、0.01 置信水平的 Q 值。

从上表可看到, 对于内侧壁而言, 跳跃组与普通组无差异, 说明跳跃运动对胫骨内侧壁的影响不明显, 因为跳跃运动主要是前后方向运动。对于前嵴和后壁而言, 举重、跳跃均有显著影响, 说明这两个项目均在前后方向上增大胫骨负荷。至于举重对内侧壁尤其明显, 跳跃对前嵴尤其明显的原因及生物力学机制, 我们将在下面予以讨论。

### 3 讨 论

#### 3.1 关于举重运动员胫骨内侧壁密质增厚

举重运动员胫骨各壁密质均有所增厚, 这无疑是长期从事运动引起的适应变化。但其内侧壁的增厚不仅在绝对值上很明显, 而且相对于跳跃运动员也较明显, 这说明必有其内在原因。笔者认为, 这种增厚既然是运动性适应, 就必然有其生物力学机制。下面对此加以讨论。

图 1 (a) 为正常立位胫骨所受由上至下负荷力的情况。但在举重运动中, 两下肢经常分开, 大腿处于外展位, 因而小腿下端亦分开向外侧(见图 1(b))。在此位置中, 胫骨受到由股骨头向下传的负荷力, 根据材料力学原理(刘鸿文, 1981), 可考虑用拉压-弯曲组合变形对待(见图 1(c))。

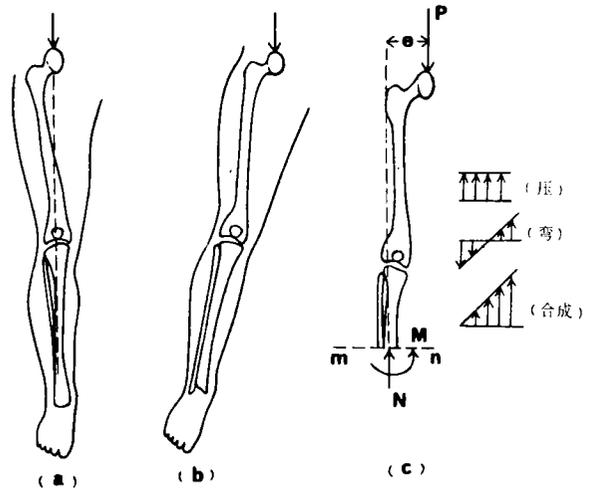


图 1 举重运动员胫骨内、外侧壁受力示意图  
Weighted medial and lateral walls  
of tibia of weight-lifting athletes

①将图 1(b) 中之胫骨沿截面 mn 截开, 则得到图 1 (c)。假设:

$\sigma_l$ ——拉压应力,  $\sigma_w$ ——弯曲应力,  
N——轴力, A——截面积, M——弯矩, W——抗弯截面模量, e——偏心距, P——负荷力。

$$\text{则有: } \sigma_l = \frac{N}{A} \quad (1); \quad \sigma_w = \frac{M}{W} \quad (2); \quad M = Pe \quad (3); \quad N = P \quad (4).$$

②截面 mn 上有内力: 轴力 N, 弯矩 M, 所形成之应力为  $\sigma_l$ 、 $\sigma_w$ (最大弯曲应力)。以  $\sigma_{内}$ 、 $\sigma_{外}$  分别代表内、外侧之合成应力, 则有:  $\sigma_{内} = \sigma_l + \sigma_w \quad (5); \quad \sigma_{外} = |\sigma_l - \sigma_w| \quad (6);$

将(1)、(2)、(3)式分别代入(5)、(6)式, 则得:

$$\sigma_{内} = \frac{N}{A} + \frac{P \cdot e}{W}, \quad \sigma_{外} = \left| \frac{N}{A} - \frac{P \cdot e}{W} \right|, \quad \text{故: } \sigma_{内} > \sigma_{外}.$$

从上分析, 内侧壁应力大于外侧壁, 这是内侧壁密质显著增厚的最本质的生物力学机制。至于因为应力差别引起骨壁增厚程度的明显差异, 自然有其生理、生化和组化机制, 但这已超出人类学研究范畴, 本文不予讨论。

### 3.2 关于跳跃运动员胫骨前嵴密质增厚

跳跃运动员胫骨前嵴增厚的原因，与其在踏跳动作中所受地面支撑反作用力的特点有关。图 2 为跳跃运动员胫骨前嵴、后壁受力示意图。

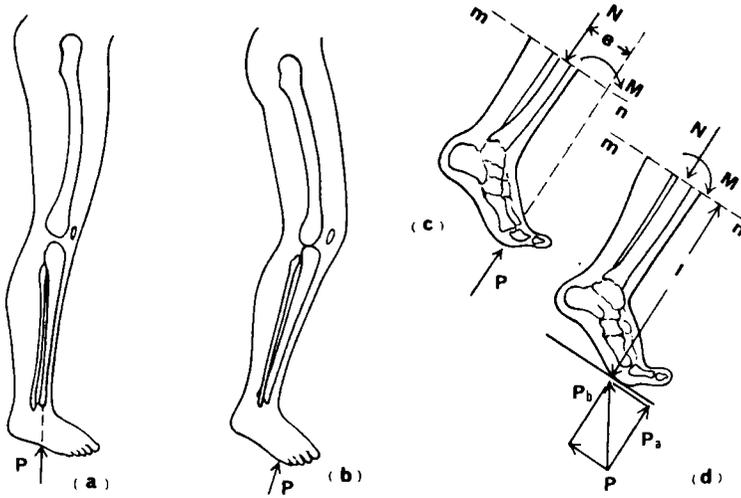


图 2 跳跃运动员胫骨前嵴、后壁受力示意图

Weighted margo anterior and posterior of tibia of jumping athletes

①图 2(a) 为正常立位胫骨所受地面之支撑反作用力的示意，图 2(b) 为起跳动作中的受力情况。如图 2(c)，将足骨和踝关节保留，于胫骨上截开，截面为 mn，P 为地面支撑反作用力。如前述，此处仍有拉压应力  $\sigma_l$ 、弯曲应力  $\sigma_w$ 。假设： $\sigma_{前}$ 、 $\sigma_{后}$  分别为前嵴、后壁之合成应力，并设支撑反作用力 P 与胫骨纵轴平行，则有：

$$\sigma_{前} = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e}{W} \quad (e \text{ 为偏心距、} W \text{ 为抗弯截面模量})$$

$$\sigma_{后} = \left| \frac{P}{A} - \frac{P \cdot e}{W} \right|$$

故： $\sigma_{前} > \sigma_{后}$ 。

②如图 2(d)，如果支反力 P 不与胫骨纵轴平行，则将它分解为  $P_a$ 、 $P_b$ ， $P_b$  的作用同上述的 P， $P_a$  则引起弯矩  $P_a \cdot l$  (l 为支撑点到截面 mn 的距离)。于是总弯矩

$$M_{总} = P_b \cdot e + P_a \cdot l, \quad \sigma_w = \frac{P_b \cdot e + P_a \cdot l}{W}, \quad \sigma_{前} = \frac{P_b}{A} + \frac{P_b \cdot e + P_a \cdot l}{W}, \quad \sigma_{后} = \left| \frac{P_b}{A} - \frac{P_b \cdot e + P_a \cdot l}{W} \right|,$$

很明显，亦有  $\sigma_{前} > \sigma_{后}$ 。

如前所述，正是这种机制引起一定部位密质显著增厚。换言之，正是这种生物力学机制，才是引起形态适应变化的原因。

## 参 考 文 献

- 王以进, 1987. 人体胫骨的力学性质——30 例报告. 生物力学, 2(1): 49—52.
- 刘鸿文, 1981. 材料力学. 北京: 人民教育出版社.
- 谢雪峰, 1984. 从 X 线片研究不同类型的体育运动对胫骨内、外径的影响. 人类学学报, 3(2): 118—124.
- 靳仕信, 1979. 解剖学进展. 北京: 人民卫生出版社.
- 戴尅戎, 1985. 骨骼系统的生物力学基础. 上海: 学林出版社.

## THE X-RAY OBSERVATION OF THE THICKNESS OF SUBSTANTIA COMPACTA OF TIBIA AND ITS BIOMECHANIC EXPLANATION

Xie Xuefeng

(Wuhan Physical Education Institute, Wuhan 430070)

### Abstract

The author made careful observations and measurements on the facade and flank X-ray photographs of the tibia of 45 boys including the ordinary group, weight-lifting group and jumping group in accordance with their sports specialities. Statistical analyses of the related indices were taken.

As far as the thickness of substantia compacta of tibia wall is concerned, the medial wall is larger than the lateral one and margo anterior is larger than posterior wall. Both the medial wall of weight-lifting athletes and the margo anterior of jumping athletes become thick. A biomechanic explanation is given for these changes.

**Key words** Tibia, Substantia compacta, Anthropometry, Biomechanic mechanism