

文章编号: 1000-582X(2003)01-0058-04

## 松质骨孔隙率的二维光电检测

陈海斌<sup>1,2</sup>, 李德源<sup>3</sup>, 廖海洋<sup>2</sup>, 刘京诚<sup>2</sup>, 肖凯<sup>1</sup>, 刘大维<sup>1</sup>

(1. 第三军医大学附属大坪医院野战外科研究所, 重庆 400042; 2. 重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400044; 3. 重庆大学工程力学系, 重庆 400044)

**摘要:**采用二维光电检测方法研究松质骨孔隙率沿不同方向的分布规律。新鲜猪胫骨后肢松质骨制备成36张切片并均分成两组:一组为沿胫骨轴向的横切切片,另一组为垂直于胫骨轴向的纵切切片。经光镜观察和图像分析,计算出每张松质骨切片表面的总面积、骨基质的面积、孔隙的面积及该松质骨切片的孔隙率。测试结果表明:松质骨孔隙率在胫骨轴向沿靠近密质骨的方向逐渐减小,在垂直于胫骨轴向方向基本不变;松质骨可看作是横观各向同性材料;如果切片数足够多,采用二维光电检测方法,能较为准确地测试出松质骨孔隙率沿不同方向的分布规律。

**关键词:**松质骨;孔隙率;多孔介质

**中图分类号:**R318.01;R336

**文献标识码:**A

在骨移植领域,松质骨具有优良的成骨诱导能力,常用作自体移植骨。但其来源有限,取骨区有一定的并发症。目前的研究热点在于<sup>[1-3]</sup>:利用组织工程学方法,模仿松质骨的物理和化学特性,探索最适的细胞移植基质的三维构型,发展一些合成的人工骨移植物质。显然,揭示松质骨的物理和化学特性是十分重要的。

松质骨是一个复杂的生物微系统。光镜观察发现,松质骨的结构特征在许多方面都近似于一种蜂窝状的多孔固体材料,空穴内充满着骨髓和组织液。为了揭示松质骨的物理和化学特性,有必要研究松质骨的微结构<sup>[3-5]</sup>。描述松质骨微结构的指标较多,其中孔隙率是最重要的指标之一。

工程中,孔隙率的常用测试方法较多,如直接法、气体膨胀法、压汞法、密度法及吸渗法等<sup>[6]</sup>。其基本原理是求取一定体积内孔隙率的平均值。但为了揭示松质骨的微结构,需要了解不同方向不同层面的松质骨孔隙率,需要了解松质骨孔隙率的分布及变化规律。显然,工程中常用的孔隙率测试方法是难以满足要求的。

为此,笔者拟采用病理切片技术和二维光电检测

方法,对不同方向不同层面的松质骨微结构进行分析,计算其孔隙率大小,并揭示孔隙率的分布及变化规律,从而较准确地描述松质骨微结构,为人工松质骨或人工骨移植物质质的研究提供重要的理论和实验依据。

### 1 理论分析

#### 1.1 松质骨的细观结构模型

松质骨亦称小梁骨或海绵骨,是一种轻质多孔的骨骼组分。松质骨约占骨骼的20%,重量较轻,具有柔韧性,又具有支持体形、负担体重的功能。在骨骼不承受巨大机械应力的部位常有松质骨,长骨骨骼、肋骨、肩胛骨、头颅的扁骨,身体其它部位的短骨、扁骨大部分由松质骨构成。松质骨外有一层密质骨的外壳,从而增加了骨骼的强度和硬度。松质骨结构疏松,因此,在应力通过关节传递时,能吸收部分应力。

目前,描述松质骨细观结构的胞体模型常见有以下4种<sup>[1,4,7]</sup>:

1) 开口网状模型,或称杆-杆结构模型,如图1所示。此模型给出的是一种等轴胞体结构,可用来模拟低密度松质骨。脊椎和股骨的某些部位就是这种低密度松质骨,它们的相对密度(即骨体中骨质所占体积

• 收稿日期:2002-09-12

基金项目:教育部重点实验室访问学者基金(教技司(2000)123号);重庆市科委院士基金项目(渝科委1998-93)

作者简介:陈海斌(1965-),男,湖北黄冈人,第三军医大学副研究员。现为重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室访问学者。主要研究方向:撞击生物力学、精密仪器与测试。

百分比)小于 13%。

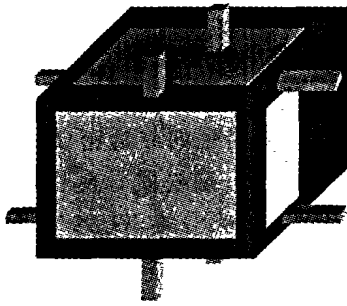


图 1 开口网状模型

2) 带孔板的框架模型,如图 2 所示。它是封闭的胞体,然而并非完全封闭,胞体壁是带孔的板状,骨髓可穿过这些孔。此模型可用来模拟高密度松质骨,其相对密度大于 20%。

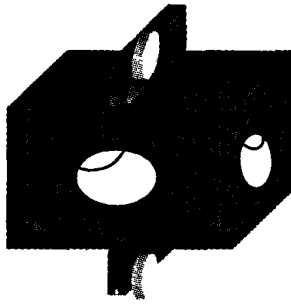


图 2 带孔板框架模型

3) 棱柱形结构模型,或称板-板结构模型,如图 3 所示。此模型可模拟骨纤维沿主应力方向长成的骨,脊椎骨中就有这种细观结构。沿六角形蜂窝轴的单向载荷,导致了这种结构。

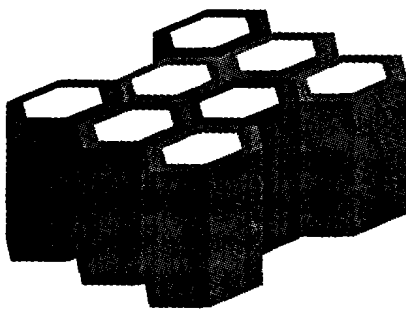


图 3 棱柱型结构模型

4) 平行板状结构模型,也称板状结构模型,如图 4 所示。它可模拟沿双向载荷而生成的骨。此模型可模拟髓骨处的细观结构。

## 1.2 松质骨孔隙率的二维光电检测原理

对一定大小的长方体或正方体松质骨试件,采用病理切片技术,从不同方向(横切方向或纵切方向)、不

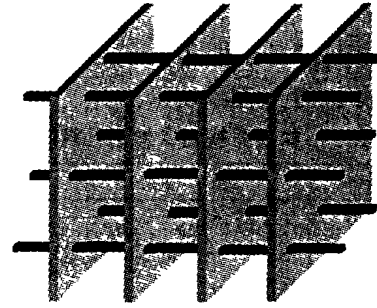


图 4 平行板状结构模型

同层面制备松质骨切片。松质骨切片在光镜下观察、照像并转化为图像文件。经图像分析,计算出每张松质骨切片表面的总面积、骨基质的面积、孔隙的面积。该松质骨切片的孔隙率由孔隙面积与切片表面总面积之比确定。

## 2 实验

### 2.1 材料与方法

随机选取 3 头猪(编号为 A, B, C)后肢新鲜胫骨左、右各 3 根,取其近端和远端松质骨制成  $7\text{ mm} \times 7\text{ mm} \times 7\text{ mm}$  试件共 12 个;试件经脱脂(70%酒精泡洗 3 次,每次 10 min)、脱钙(1 份脱钙剂 = 40 mL 甲醛 + 80 mL 硝酸 + 360 mL 蒸馏水)和梯度乙醇脱水后,行常规病理制片。

左后肢胫骨近端、右后肢远端松质骨试件用于横切切片,而右后肢胫骨近端、左后肢远端松质骨试件用于纵切切片。横切切片时,对胫骨近端松质骨,沿垂直轴自下而上顺序切片,切片序号分别为 NS1, NS2, NS3;对胫骨远端松质骨,沿垂直轴自上而下顺序切片,切片序号分别为 FS1, FS2, FS3。纵切切片时,对胫骨近端或远端松质骨,沿垂直于轴向方向顺序切片,切片序号分别为 LS, MS, RS。石蜡切片厚度为  $5\text{ }\mu\text{m}$ 。

松质骨切片在光镜(LEICA DMIRB 型荧光显微镜,  $\times 200$ )下观察和照像,照片由扫描仪(AGFA SNAPSCAN 600 型扫描仪)转化为图像文件。编制图像处理软件计算骨基质与整个表面的面积。由于显微镜的视场只有  $1\text{ mm} \times 1\text{ mm}$ ,为了满足连续性的要求,切片面积要大于  $7\text{ mm} \times 7\text{ mm}$ ,在显微镜下连续取 25 张图片送入计算机进行统计处理。

单个松质骨切片孔隙率按下式计算:

$$\Phi_k = 1 - \left( \frac{\sum_i S_{g_i}}{\sum_i S_{t_i}} \right) \quad (i = 1, 2, \dots, 25; k = 1, 2, 3)$$

式中,  $k$  表示某松质骨试件上的第  $k$  个切片;  $i$  表示某松质骨切片上的第  $i$  幅图像;  $S_{g_i}$  和  $S_{t_i}$  分别为第  $i$  幅图像中固体骨质与整个图像的面积。

### 2.2 结果

上述 12 个松质骨试件共 36 张切片孔隙率的测试结果如表 1、表 2、图 5、图 6 所示。

表 1 松质骨横切试件的孔隙率 %

编号	NS1	NS2	NS3	FS1	FS2	FS3	均值
A <sub>nl</sub>	65.40	79.99	89.62	—	—	—	78.33
A <sub>fr</sub>	—	—	—	66.31	81.63	89.94	79.29
B <sub>nl</sub>	54.31	69.70	76.47	—	—	—	66.83
B <sub>fr</sub>	—	—	—	59.98	78.11	81.33	73.14
C <sub>nl</sub>	70.17	75.86	80.89	—	—	—	75.64
C <sub>fr</sub>	—	—	—	70.91	82.75	87.01	80.22

表 2 松质骨纵切试件的孔隙率 %

编号	LS	MS	RS	均值
A <sub>n</sub>	75.30	70.11	72.56	72.66
A <sub>r</sub>	67.84	66.35	74.46	69.55
B <sub>n</sub>	71.91	73.41	75.09	73.47
B <sub>r</sub>	53.37	55.68	52.74	53.93
C <sub>n</sub>	67.23	71.14	70.73	69.70
C <sub>r</sub>	65.31	63.97	66.43	65.24

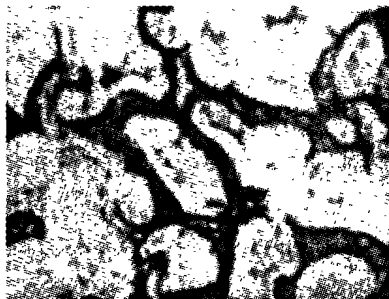


图 5 实验猪 A 左后肢胫骨近端松质骨横切切片 (NS1 中的一幅图像, HE 染色, × 200)

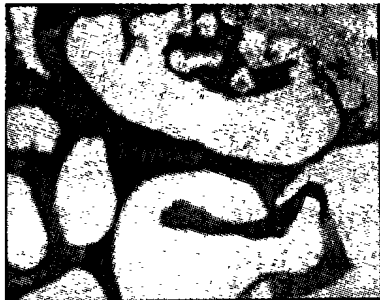


图 6 实验猪 C 右后肢胫骨远端松质骨纵切切片 (LS 中的一幅图像, HE 染色, × 200)

表 1、表 2 中, A, B, C 表示 3 只实验猪的编号; 下标 n, f 分别表示胫骨近端松质骨、远端松质骨; 下标 l, r 分别表示左后肢胫骨、右后肢胫骨; A<sub>nl</sub> 表示实验猪 A 左后肢胫骨近端松质骨试件块; A<sub>fr</sub>—C<sub>fr</sub> 含义与 A<sub>nl</sub> 相似。

### 3 结论与讨论

#### 3.1 松质骨孔隙率的分布规律

由表 1、表 2、图 5、图 6 可推知:

1) 松质骨孔隙率沿轴向靠近密质骨逐渐变小。如实验猪 A 左后肢胫骨近端松质骨横切切片 NS3、NS2、NS1 的孔隙率分别为 89.62%、79.99%、65.40%，呈逐渐减小的趋势。

2) 松质骨孔隙率在垂直于轴向的方向基本不变。如 B 猪右后肢胫骨近端松质骨纵切切片 LS, MS, RS 的孔隙率都接近于 54%。

#### 3.2 松质骨的横观各向同性

William 和 Lewis 认为, 由于主压应力大都沿胫骨轴线方向, 松质骨骨架相应地也都沿胫骨轴向排列, 所以, 松质骨从力学性质来说可以近似看成是横观各向同性的, 即松质骨在任一横向切面上具有相似的力学性质<sup>[8-9]</sup>。表 2 中的纵切切片孔隙率的测试结果也提示, 可以将松质骨看作横观各向同性材料。

#### 3.3 松质骨孔隙率二维光电检测方法的特点

采用二维光电检测方法测试松质骨孔隙率时, 既不考虑孔隙结构的几何特征, 也不计及多孔体中各组分的准确分布, 而假设相互结合的各组分“分散”在整个控制空间, 即每一组分与其它组分同时占据整个体积空间或整个平面。这符合混合物理论关于“混合物各组分在空间呈统计分布”的思想<sup>[7,10-11]</sup>。因此, 如果松质骨切片数足够多, 松质骨计算模型接近松质骨的真实微观结构, 采用二维光电检测方法, 能较为准确地测试出松质骨孔隙率的分布规律。

#### 参考文献:

- [1] KEAVENY T M, HAYES W C. A 20-year perspective on the mechanical properties of trabecular bone[J]. J Biomech Engng, 1993, 115(9): 534-542.
- [2] 杨志明. 神经、骨及软骨组织工程学研究进展[J]. 中国科学基金, 1999, (4): 212-216.
- [3] 杨洪义, 刘铃蓉, 张燕. 骨移植材料及其传导机理[J]. 国外医学生物医学工程分册, 1999, 22(6): 344-349.
- [4] 杨桂通, 吴文周. 骨力学[M]. 北京: 科学出版社, 1989. 2-5.
- [5] KING A I. Progress of research on impact biomechanics[J]. J Biomech Engng, 1993, 115(9): 582-587.
- [6] 科林斯 R E. 流体通过多孔材料的流动[M]. 北京: 石油工业出版社, 1984. 7-10.
- [7] 陈海斌, 王正国, 杨志焕, 等. 松质骨的两相多孔弹性模型[A]. 第六届全国创伤学术交流会议论文摘要选编[C]. 重

- 庆:中华创伤杂志编辑部, 1999.102.
- [8] BROWN T D, FERGUSON A B. Mechanical properties distributions in the cancellous bone of the human proximal femur[J]. Acta Orthop Scand, 1980.(51):429-437.
- [9] WILLIAM J L, LEWIS J L. Properties and an anisotropic model of cancellous bone from the proximal tibia epiphysis[M]. New York: Springer-Verlag Press, 1973.154-160.
- [10] 刘占芳, 陈海斌, 李德源, 等. 松质骨的一维撞击动力响应[J]. 生物医学工程学杂志, 2000, 17(3):266-269.
- [11] BOER R D 著. 多孔介质理论发展史上的重要成果[M]. 刘占芳, 严波译. 重庆:重庆大学出版社, 1995.2-11.

## Two-dimension Opto-electronic Test Method to Determine the Cancellous Bone Porosity

CHEN Hai-bin<sup>1,2</sup>, LI De-yuan<sup>3</sup>, LIAO Hai-yang<sup>2</sup>, LIU Jing-cheng<sup>2</sup>, XIAO Kai<sup>1</sup>, LIU Da-wei<sup>1</sup>

(1. Research Institute of Surgery, Daping Hospital, Third Military Medical University, Chongqing 400042, China;

2. Opto-electronic Technique and System Key Laboratory of Education Ministry,

Chongqing University, Chongqing 400044, China;

3. Department of Engineering Mechanics, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** A two-dimension opto-electronic test method has been developed to determine the distribution characteristics of cancellous bone porosity. The fresh pig tibiae cancellous bone in behind leg was sectioned. A total of 36 cancellous bone sections were divided two groups. The first group consisted of 18 transversal sections along the axial direction, and the second group consisted of 18 axial sections along the transversal direction of the tibiae. Their images were examined microscopically and processed quantitatively. The total area, solid matrix area and pore area of each specimen and its porosity were determined, too. The cancellous bone porosity is gradually decreased along the axial direction of tibiae and approaching to the compact bone, but almost constant along the transversal direction. Cancellous bone is modeled as a transversely isotropic, liquid saturated porous solid. The two-dimension opto-electronic test method can be used to relatively accurately determine the distribution characteristics of the cancellous bone porosity from different directions if the cancellous bone sections are enough.

**Key words:** cancellous bone; porosity; porous medium

(责任编辑 李胜春)

(上接第 41 页)

## Virtual Studio System Technology

QIAO Yu, HUANG Xi-yue, CHAI Yi

(College of Automation Chongqing University, Chongqing 400044, China)

**Abstract:** Virtual studio system (VSS), a new technology based on virtual reality, develops fast in recent years. Virtual studio concept replaces real background sets with computer-generated 3D synthetic and combines real foreground action, with computer-generated backgrounds. As VSS need not construct real background sets and has little limitness of time and space, it is regarded as a revolution in TV programs. This paper mainly discusses about the background, technology feature, application and future.

**Key words:** virtual studio technology; virtual reality; virtual 3D scenes

(责任编辑 吕赛英)