

# 基于CT三维重建个性化设计猪股骨髓腔关节假体与骨髓腔接触率的定量研究

吴琪<sup>1</sup> 陶伟伟<sup>1</sup> 席文明<sup>2</sup> 朱建非<sup>1</sup> 张穹<sup>1</sup> 丁杰<sup>1</sup> 石朋文<sup>1</sup> 陈露<sup>1</sup>

**[摘要]** 目的 基于CT三维重建个性化设计猪股骨髓腔关节假体与骨髓腔接触率的定量研究。方法 选择猪股骨,拍摄实验前正侧位,双斜位片,再运用CT进行横断面扫描,获得CT数据后三维重建。基于CT三维重建数据,运用机器人磨削个性化假体,使其成为与髓腔完全匹配的定制假体。匹配后,拍摄实验后正侧位片,计算定制假体与髓腔接触的骨皮质或者骨松质的表面积以及接触率。结果 通过计算,个性化假体近端表面与骨髓腔直接接触率为90.8%,与医疗机器人辅助扩髓组获得的假体表面与骨髓腔直接接触率相近,远较传统手工扩髓组获得的假体近端表面与骨髓腔直接接触率高。结论 基于CT三维重建个性化股骨假体与猪股骨髓腔初始固定直接接触率为90.8%,可获得良好的接触率。

**[关键词]** 关节成形术;髌关节;关节置换;定制假体;髓腔匹配

**[中图分类号]** TP391.41; R681.6

**[文献标识码]** A

A quantitative research based on CT three dimensional reconstruct of personalized hip prosthesis and porcine femoral canal fixed

Wu Qi<sup>1</sup>, Tao Weiwei<sup>1</sup>, Xi Wenming<sup>2</sup>, et al. 1Department of Orthopaedics, the NO. 82 Hospital of PLA, Huaian Hubei, 223001; 2 School of Physics and Mechanical & Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen Fujian, 361005, China

**[Abstract]** Objective A quantitative research based on CT three dimensional reconstruct of personalized hip prosthesis and porcine femoral canal fixed. Methods Choose a pig femur and get photos of its lateral and double oblique positions before the experiment, then use CT scanning in cross-section. Reconstruct three-dimension on obtaining CT datas, grind personalized prosthesis by using robot and making it perfectly matched with femoral canal of customized prosthesis. Take photos of its lateral when personalized prosthesis matched with femoral canal of pig after the experiment. Then calculate the surface area and contact rate of the cancellous bone or cortical bone respectively where the personalized prosthesis contact with femoral canal. Results Through calculation, personalized prosthesis proximal surface directly contact with the bone marrow cavity at a rate of 90.8% which is close to the rate that prosthesis surface directly contact with the bone marrow cavity which acquired by the medical robot-assisted reaming group. And further the rate is higher than the rate obtained by the traditional manual expanding medullary group. Conclusion The direct contact rate based on CT three dimensional reconstruct of personalized femoral prosthesis and porcine femoral canal initial fixed is 90.8% making it possible to have a good fixed.

**[Keywords]** Arthroplasty; Hip joint; Joint replacement; Counterfeiting body; The matching of the medullary cavity

随着人口老龄化的逐渐到来,股骨颈骨折,股骨头坏死的发病率逐年上升,髌关节置换对于老年患者早期下地行走,降低长期卧床引起的并发症发生率,提高生活质量有着显著意义。然而由于人体的个性化特点分明,标准化的假体与患者骨髓腔难以匹配准确,初始固定难如人意,而初始固定是影响假体置换术后疗效的关键因素之一。目前锥形股骨柄假体置换术后在髓腔内可获得三点固定,即股骨柄在股骨近端的后侧、股骨柄中部的前侧以及股骨柄远端的后侧。传

作者单位:1 中国人民解放军第82医院,江苏淮安223001 2 厦门大学物理与机电工程学院,福建厦门361005

统手工扩髓组获得的假体近端表面与骨髓腔直接接触率平均仅为28%~30%,而医疗机器人辅助扩髓组获得的假体近端表面与骨髓腔直接接触率平均为95.7%。本文基于CT三维重建个性化猪股骨髓腔关节假体对股骨髓腔的直接接触率进行定量评估。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

猪股骨取之于成年雄性猪,新鲜去组织后晒干。术前均拍摄正侧位片,再运用CT进行横断面扫描,以及三维重建。

### 1.2 机器人磨削个性化假体

将猪股骨的 CT 数据导入到 Mimics 软件中,进行三维重建。在 Mimics 软件中进行布尔运算,获得猪股骨髓腔实体模型。将髓腔实体模型导入 Pro/E 软件中,进行髓腔实体模型表面的细化和光滑。将处理后的髓腔实体模型作为个性化假体设计模型导入到机器人仿真软件 RobCAD 中,调取机器人模型,在其末端安装连接块,然后在连接块上固结髓腔实体模型。在髓腔实体模型上取八个断面,相邻断面之间的距离为 5mm,在每个断面的圆周上编制轨迹点,连接轨迹点形成机器人磨削路径。完成机器人磨削轨迹编制后,在机器人仿真软件上进行模拟磨削仿真。将仿真好的磨削程序下载到自行研制的机器人磨削系统中,对铜棒进行磨削,髓腔实体形状将被复制到铜棒上。

### 1.3 股骨假体植入术

髓腔挫反复打磨猪骨股骨髓腔,打磨掉髓腔松质骨,植入定制股骨假体。

### 1.4 个性化假体植入后 X 线、CT 扫描

个性化假体植入后拍摄正侧位 X 射线图像,再运用 CT 进行横断面扫描,CT 设置:120KV,250mA,层厚为 3mm,窗宽 1600,窗位 600。CT 机采用 SIEMENS 公司的 PET-CT (64 排);扫描范围从个性化假体植入物的远端连续平扫至植入物的近端。

### 1.5 直接接触率计算方法

#### 1.5.1 髓腔表面积计算

将个性化假体与股骨髓腔压配,用 8 个平面切压配好的个性化假体,平面间距 5mm,从右至左为 a, b, c, d, e, f, g, h 平面。在 Pro-E 软件中,测量个性化假体设计模型的对应该断面轮廓周长。以断面轮廓周长为梯形的上下底边,测得各节段的面积,其总表面积为各节段的面积之和记为 S, S 即为压配区股骨髓腔表面的面积。

#### 1.5.2 大于 1mm 间隙区域面积的计算

图 1 中,粗线表示股骨髓腔的断面轮廓,而细线表示个性化假体断面轮廓。假设在 d 断面上,股骨髓腔与个性化假体间存在大于 1mm 间隙。这时观察 d 断面的右断面 c 和左断面 e,如果 c 断面中股骨髓腔与个性化假体间间隙没有超过 1mm,而 e 断面中股骨髓腔与个性化假体间间隙超过 1mm,则观察 e 断面的左断面 f,假设 f 断面中股骨髓腔与个性化假体间间隙没有超过 1mm,则大于 1mm 间隙区域将在 f 和 c 断面间计算。假设 d 断面轮廓上,大于 1mm 间隙的髓腔弧长是 mn, e 断面轮廓上,大于 1mm 间隙的髓腔弧长是 op。如果弧 mn 大于弧 op,则以 mn 长度计算大于 1mm 间隙区域,该区域为矩形,其长度为 f 断面与 c 断面间的距离,高度为 mm 弧长。在实际测量时,5mm 处 b 断面轮廓出现 1/3 圆周大于 1mm 的间隙,大于 1mm 间隙区域记为

S1。25mm 处 f 断面轮廓出现 1/36 圆周大于 1mm 的间隙,大于 1mm 间隙区域记为 S2。

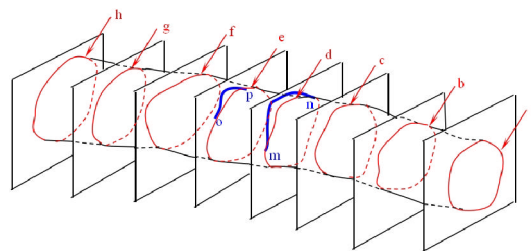


图 1 直接接触率计算方法

### 1.6 接触率的计算

以断面轮廓周长为梯形的上下底边,测得各节段的面积,其总表面积为各节段的面积之和,记为 S,即压配区股骨髓腔表面的面积。测量中,发现 b 断面, f 断面存在大于 1mm 的间隙,分别记为 S1, S2。故整体低于 1mm 的间隙的接触率=1- (S1+S2) /S。

## 2 结果

### 2.1 个性化假体与髓腔压配后的 X 射线图像结果

正侧位 X 射线图像显示:个性化股骨假体与猪股骨髓腔充填良好,侧位片髓腔的 S 形贴合紧密。(图 2)



图 2 个性化股骨假体与猪股骨髓腔压配后的正侧位 X 射线图像

### 2.2 实体横断面测量结果

猪股骨的实体横断面显示:远端局部未完全接触,其余均贴合紧密。未呈现传统手术中的 3 点接触,其表现为紧密贴合。(图 3) 计算结果表明,远端最大间隙 1.4mm,并且超过 1mm 间隙占周长的 1/3,近端均贴合紧密。(表 1)



图 3 横断面 b-f

表 1 断面最大间隙与超过 1mm 间隙所占的周长

断面	最大间隙	超过 1mm 间隙所占的周长
B	1.4	1/3
C	1	0
D	0.8	0
E	0.5	0
F	1.1	1/36
G	0.3	0
H	0.2	0

### 3 讨论

当前市场上髌关节假体主要依据欧洲的设计理念以及欧美人种的设计参数进行设计,为了实现市场化,更快的推广利用,生产厂家采取模块化生产,按一定规格批量生产。这就造成了人工假体与亚洲人种以及各人之间的差异。随着髌关节置换的增多,行翻修术的人工髌关节也逐年增多,其中重要的一个原因是人工髌关节的无菌性松动<sup>[1-3]</sup>,这也从另外一方面也证实了现在市场的假体与股骨髓腔的匹配性的问题。早期研究表明,人工髌关节的无菌性松动可能因磨损颗粒引起的骨溶解,而人工假体与骨髓腔的直接接触率不高是原因之一<sup>[4]</sup>。应用有限元分析法证实了这一想法,研究发现假体与髓腔接触率为 82%的抗微动能力明显强于髓腔与假体接触率为 67%的一组。并且当假体的微动 $< 20 \mu\text{m}$ 时,人工假体与骨组织的结合更加紧密,形成完全稳固的生物学固定。根据 Sandborn 等人对成年犬股骨髓腔与植入物假体之间间隙大小对于骨组织的长入的观察研究表明 距离为 0.5mm 或者更小时骨组织的长入量明显增加。由于目前股骨假体多为近端固定的假体,有更好的对抗扭转力,柄的上部呈锥形设计,并有微孔便于骨长入,要求股骨近端髓腔与假体要尽量匹配以提供足够的旋转稳定性。临床和实验均证实假体与股骨近段髓腔横断面的匹配非常重要<sup>[5]</sup>。

股骨峡部作为股骨的重要结构,限制了股骨假体的植入,使得设计股骨假体的远端直径逐渐减小,股骨假体与股骨髓腔内皮质的距离逐渐增大。人工假体超过峡部的部分主要为了得到牢固的 3 点接触,从而利于抗旋转。而研究表明,当超过峡部的远端假体,与髓腔接触面积逐渐增多时,也会影响近端假体与髓腔的贴合,造成松动和旋转。Engl 等研究表明在股骨假体与股骨髓腔近端匹配度相同的情况下,假体在股骨峡部若接触率高,93%的股骨假体产生骨长入,固定更好;反之仅有 69%。因此全髌关节置换过程中应努力做到近端和峡部的共同稳定<sup>[6]</sup>。

对于股骨远端假体的设计,因远端假体主要为了实现防止下沉以及防旋转功能,而其中防旋转功能居于主要位置。

定制的假体可以实现假体与远端的完全匹配,因股骨髓腔的不规则结构,能够充分实现防旋转的功能。考虑到峡部的存在,通过峡部的假体远端必须小于峡部的直径,因此假体的设计主要止于峡部的近端。当前假体柄有逐渐缩短的趋势,其原因可能可以有效防止应力遮蔽,使得置换后应力沿股骨距传导至下肢。因此定制的人工假体可以实现有效的防旋转以及更有利的应力传导。

非骨水泥型股骨假体的长期固定有赖于获得坚强的初始固定和通过股骨与假体结合获得有效的二次稳定。要达到上述目的则要求股骨假体与髓腔骨面的接触缝隙宽度尽量小于 1 mm。非骨水泥假体与髓腔的接触率越高,在获得坚强的初始固定的同时,也增加了后期随着骨组织的长入所获得的二次稳定的可能性。假体与髓腔接触率越高,骨形成率越高,假体生物学固定的效果越好,因此有效增加假体与髓腔接触率有助于提高假体置入初后期稳定<sup>[5]</sup>。高的接触率既可以贴合紧密,减少假体的微动,降低无菌性假体松动的发生率,防止假体在髓腔内旋转以及下沉,又可以促进骨组织的长入,因此要求假体需与股骨髓腔尽可能的匹配。目前传统手工扩髓组获得的假体近端表面与骨髓腔直接接触率平均仅为 28%~30%<sup>[7]</sup>,而医疗机器人辅助扩髓组获得的假体近端表面与骨髓腔直接接触率平均为 95.7%。对于医疗机器人辅助扩髓,目前争议较多,其中一种为 RoboDoc 系统<sup>[8]</sup>,基于 CT 三维重建系统,磨削患者髓腔,使其与假体匹配。该系统耗时长,创伤大,机器人在磨削髓腔过程中不能中断,中断后需重新标定。同样为了得到良好的匹配,本文实验思路同样基于 CT 三维重建系统,利用磨削假体代替磨削髓腔,使其与髓腔匹配。优点在于假体磨削不占用手术时间,创伤小,最大限度保留股骨的皮质骨。(图 4)

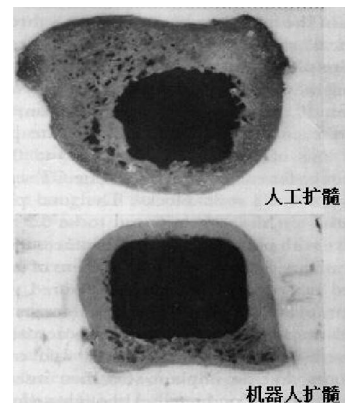


图 4 人工扩髓髓腔近似于圆形,而机器人扩髓近似于正方形,皮质破坏较多

基于试验结果,个性化股骨假体与猪股骨髓腔初始固定

直接接触率为 90.8%，可获得良好的初始固定，个性化股骨假体与猪股骨髓腔初始固定直接接触率与医疗机器人辅助扩髓组获得的假体近端表面与骨髓腔直接接触率相近，然而手术过程短，创伤小，对股骨皮质损伤小的优点使其利于推广和使用。基于 CT 三维重建个性化股骨假体的设计只能达到峡部，其抗旋转能力的改变是后期研究的重点。传统手术中，假体的应力主要集中在峡部，从而出现髌关节置换术后的慢性疼痛，以及应力遮蔽导致的股骨近端骨质疏松。股骨近端与个性化股骨假体的良好接触率，对于降低峡部的剪切力，以及增加股骨近端表面的垂直压力，从而有效降低因应力遮蔽引起的骨质疏松和慢性疼痛，也是后期研究的重点。

#### 参考文献

- [1] 黄聪超, 潘华. 人工髌关节无菌性松动的研究进展[J]. 辽宁中医药大学学报, 2007, 9(5):182-184.
- [2] 吕丹, 孙明林. 人工髌关节置换后假体无菌性松动的因素及其防治[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(13): 2554-

2556.

- [3] 马玉超, 田京. 人工关节假体植入后无菌性松动的发病机制[J]. 中国组织工程研究, 2012, 16(26): 4892-4897.
- [4] 徐卿荣, 朱振安. 人工髌关节无菌性松动与骨溶解[J]. 国外医学·骨科学分册, 2002, 1(23):24-26
- [5] 李建龙, 李毅中. 股骨近端髓腔的 CT 测量及股骨假体设计[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2011, 15(17):3169-3172.
- [6] 李毅中, 李建龙. 股骨峡部在非骨水泥型全髌关节置换中的作用. 中国组织工程研究与临床康复, 2010, 14(9):1586-1590.
- [7] 吴立东, HJ Hahne, J Hassenpflug. 全髌关节置换非骨水泥型股骨柄假体髓腔准备的精确性研究[J]. 中华骨科杂志, 2002, 22(5):261-266.
- [8] 张云鹏, 任龙韬. 计算机辅助骨科手术概况与进展[J]. 实用骨科杂志, 2009, 6(15):427-429.

[作者简介] 吴琪(1982-)男, 人体解剖学研究生, 主治医师。工作方向:骨科创伤与关节。

(收稿日期:2013-11-22)

#### 上接第 34 页

- [25] 路明珠, 陆文铨, 伊佳, 等. 不同分子量构成的玻璃酸钠对骨关节炎治疗作用的实验研究[J]. 药学实践杂志, 2010, 28(1): 19-23.
- [26] Diracoglu D, Vural M, Baskent A, et al. The effect of viscosupplementation on neuromuscular control of the knee in patients with osteoarthritis[J]. J Back Musculoskelet Rehabil. 2009,22(1):1-9.
- [27] Kroesen S, Schmid W, Theiler R. Induction of an acute attack of calcium pyrophosphate dihydrate arthritis by intra-articular injection of hylan-GF 20(Synvisc). Clin Rheumatol 19(2):147-149,2000.
- [28] Albert C, Brocq O, Gerard D, et al. Septic arthritis after intra-articu-

lar hyaluronate injection. Joint Spine DOI 10.1016.

- [29] Brandt KD, Block JA, Michalski JP, et al. Efficacy and safety of intraarticular sodium hyaluronate in knee osteoarthritis. ORTHOVISC Study Group[J]. Clin Orthop, 2001, 385: 130.
- [30] 廖淑梅, 南玲. 透明质酸钠关节腔内注射致过敏反应. 药物不良反应杂志[J]. 药物不良反应杂志, 2011, 13(1): 49.

[作者简介] 李双(1981-)男, 博士研究生, 主治医师。研究方向:创伤骨科及修复重建, 骨科康复。

(收稿日期:2014-05-25)

#### 上接第 39 页

髌骨块植骨来恢复肱骨内侧皮质支撑及维持正常的头干角，并增强对螺钉的把持力，是维持术后骨折稳定、避免骨折二次移位的重要措施，同时植骨能诱导生骨，促进骨折愈合。最后，围手术期进行规范抗骨质疏松治疗，可以增加骨量及改善骨的质量，不仅有利于内固定的牢靠，也可以促进骨折愈合。

综上所述植骨能很好的解决骨缺损，有效支撑肱骨头维持复位稳定以及增加内固定在骨质疏松骨骼中的把持力，促进骨折愈合。锁定钢板近端螺钉的成角固定，大大增加了吻合及抗拔出，提供了足够力学强度及稳定性，允许早期的功能锻炼，同时钢板与骨面间无需加压接触，充分保护了骨膜及骨的血运，减少肱骨头坏死及骨不愈合的发生率。采用肱骨近端锁定钢板联合自体髌骨移植治疗老年骨质疏松性肱骨近端三、四部分骨折，临床疗效满意，是一种行之有效的办法。对于老年肱骨近端四部分骨折合并肩关节脱位，一期肩关节置换也是一个很好的选择。

#### 参考文献

- [1] 王亦璁主编. 骨与关节损伤 A 版. 北京:人民卫生出版社, 2007, 2. ISBN 978-7-117-08146-7.
- [2] 黄强, 王满宜, 荣国威. 复杂肱骨近端骨折的手术治疗. 中华骨科杂志, 2005, 25:159-164.
- [3] Neer CS. J Bone Joint Surg, 1970, 52-A: 1077.
- [4] 张长青, 苏琰, 曾炳芳. 肱骨近端锁定接骨板治疗肱骨近端骨折的临床分析及手术技巧[J]. 中华手外科杂志, 2005, 21: 262-264.
- [5] 朱让腾, 叶招明, 应有荣, 等. 肱骨近端锁定接骨板治疗老年肱骨近端骨折[J]. 中国骨伤, 2006, 19(5):305.
- [6] 席银辉. 锁定钢板治疗肱骨近端骨折的疗效分析[J]. 实用骨科杂志, 2008, 14(3):183.

[作者简介] 李作宏(1973-)男, 本科, 主治医师。工作方向:骨创伤及骨关节。

(收稿日期:2013-10-22)