

# 基于 MRI 的成人正常膝关节软骨形态学测量

张建雷 陆地 陆声 梁金龙 孙国保 高心健

基金项目:国家自然科学基金(81171428)

作者单位:650500 云南昆明,昆明医科大学人体解剖教研室(张建雷、陆地、梁金龙);成都军区昆明总医院附属骨科医院(张建雷、陆声、梁金龙、孙国保、高心健);西安交通大学机械工程学院(孙国保、高心健)

作者简介:张建雷(1987-),男,医学硕士生,研究方向:膝关节临床应用解剖

通信作者:陆声, E-mail: dlsheng@yahoo.com.cn

**【摘要】 目的:**了解正常膝关节软骨分布及股骨髁承重区的软骨厚度特点,为膝关节病变早期诊断和动态观察提供依据。**方法:**选取100名成人志愿者,男、女各50名,年龄20~30岁,平均25.3岁,膝关节均行MRI扫描。应用MIMICS软件对图像进行处理,在矢状位窗面上测量膝关节各部位软骨最大厚度。选择膝关节正常运动时的承重区,测量承重区域软骨的最大厚度并与其他区域进行比较。基于MRI图像行膝关节软骨三维重建,观察膝关节软骨的三维形态特征。**结果:**膝关节各部位的最大软骨厚度如下。胫骨外侧平台3.19 mm,胫骨内侧平台3.07 mm,股骨外侧髁2.93 mm,股骨内侧髁3.19 mm,股骨滑车软骨3.57 mm,髌软骨3.75 mm。不同性别与左右侧之间的软骨厚度差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。胫股关节承重区软骨厚度大于其他区域,有统计学差异( $P < 0.05$ )。**结论:**成人正常膝关节各区域软骨厚度不同,胫股关节承重区软骨厚度大于非承重区域。基于MRI可以准确地测量膝关节各部位软骨的厚度及重建膝关节软骨的三维形态。

**【关键词】** 核磁共振;软骨厚度;承重区;膝关节;形态学

doi: 10.3969/j.issn.1671-7163.2013.03.007

**【中图分类号】** R322.33 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1671-7163(2013)03-0198-05

## Measurement of Adult Normal Knee Joint Cartilage Morphology Based on MRI

ZHANG Jian-lei, LU Di, LU Sheng, LIANG Jin-long, SUN Guo-bao, GAO Xin-jian. Department of Anatomy, Kunming Medical University, Kunming, Yunnan 650500, China

**【Abstract】 Objective:** To understand the distribution of normal knee cartilage and femoral condyle cartilage thickness of the weight bearing regions, to provide a basis for early diagnosis and dynamic observation for the knee joint disease. **Methods:** 50 male and 50 female, a total of 100 adult volunteers were involved, ranging from 20 to 30 years old, with a mean age of 25.3 years. All the knees were scanned by magnetic resonance imaging (MRI). Knee cartilage thickness of medial tibia platform, lateral tibia platform, patellar, femoral trochlea, medial and lateral femoral condyle in sagittal windows were measured in the software MIMICS. The maximum cartilage thickness of the selected area of normal weight bearing region were measured and compared. The three-dimensional morphological characteristics of the knee cartilage reconstructed was observed by MRI. **Results:** The maximum thickness of the knee joint cartilage on each regions were as follows: Tibia lateral platform: 3.19mm, tibial medial platform: 3.07mm, femoral lateral condyle: 2.93mm, femoral medial condyle: 3.19mm, femoral trochlea cartilage: 3.57mm, patellar cartilage: 3.75mm. There were no statistical differences between men and women for cartilage thickness ( $P > 0.05$ ), but significantly statistical differences between weight bearing regions and non-weight bearing regions ( $P < 0.05$ ). **Conclusions:** The thickness of the normal adult knee joint cartilage is various in different regions, thickness of the weight bearing regions were significantly greater than the non-weight bearing regions in femoral condyle. Thickness of the knee joint cartilage can be accurately measured and the three-dimensional morphology of knee joint cartilage can be easily reconstructed based on MRI.

**【Key words】** MRI; Cartilage thickness; Weight bearing regions; Knee joint; Morphology

准确及时地评价体内关节软骨的形态特征对于许多疾病的研究非常重要。特别是骨关节炎(osteo-

arthritis, OA) 病变, 它的发生和发展是缓慢而又连续的过程, 在正常和病变之间没有明显的界限, 其核心环节是关节透明软骨病变<sup>[1]</sup>。关节软骨能够最大限度地承受关节的力学负荷, 关节的生物力学改变影响关节软骨的厚度及体积, 导致软骨损伤及关节病变<sup>[2]</sup>。了解关节软骨的形态变化规律是疾病早期诊断及预防的基础。我们应用医学图像处理软件 MIMICS 重建并测量正常成年人膝关节软骨分布特点及膝关节承重区与非承重区软骨的厚度。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究对象

自 2010 年 12 月至 2012 年 6 月间于昆明医科大学招募志愿者参加试验。入选条件如下: ①膝关节无外伤史及 OA 临床表现; ②无膝关节内、外翻, 膝关节无肿胀、压痛; ③家族中无免疫性关节炎或其他相关病史; ④汉族; ⑤BMI 值在 15~25 之间 (BMI = 体质量/身高平方); ⑥由专科医师完成临床和体检评估。共计筛选出 100 名志愿者, 年龄 20~30 岁, 平均 25.3 岁, 男女各 50 名。

### 1.2 仪器及成像方法

3.0 T MR (Siemens/Verio, Germany), 解放军昆明总医院影像科。受试者平卧于检查床上, 下肢与心脏处于同一高度, 使用膝关节线圈, 行双侧膝关节扫描。扫描参数: 扫描序列 FLASH—FS—T1WI, TR/TE/FA = 42ms/21 ms/60°, 矩阵 512 X 512, 层厚 1.5 mm, 无间隔; 3D—FISP—FS—T2WI, TR/TE/FA = 38 ms/10 ms/40°, 矩阵 512 x 512, 层厚 1.5 mm, 无间隔。

### 1.3 测量方法

将所得图像以 DOCOM 格式导入 MIMICS 软件中 (10.1, 比利时), 使用软件对图像进行读取、分割、处理。将膝关节软骨分为股骨内侧髁、外侧髁, 胫骨内侧平台、外侧平台, 髌骨区, 股骨滑车等区域。定义软骨—软骨下骨界面到软骨—软组织界面的垂直最短距离为此区域关节软骨的厚度。在矢状位窗口中测量不同区域软骨的厚度, 以其均值作为该区域的软骨厚度。见图 1。

在 MIMICS 软件水平面窗口上连接股骨外上髁最突出点与内上髁凹槽即股骨远端外科髁上轴 (STEA), 此轴为股骨远端的功能轴。在矢状面窗口上连接股骨外科髁上轴线的点 (O 点) 与膝关节伸直位股骨内外髁软骨与胫骨内外平台软骨接触点 (A 点), 此处即膝关节的承重区。以此连线为基准并将股骨髁自前至后划分为 B、A、C、D 不同区域, 各区域相邻两条直线的夹角为 30°, 测量这些区域的软骨厚度 (图 2)。分割、三维重建膝关节软骨, 观

察软骨形态 (图 3)。

## 1.4 统计学方法

使用 GraphPad Prism 6.0 for Windows 统计软件对所测量的数据进行分析处理。统计数据用均值 ± 标准差 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示, 配对 t 检验比较不同性别及侧别各数据之差异, 以  $P < 0.05$  为有统计学意义。

## 2 结果

膝关节软骨的分布是不均匀的, 同一个人膝关节软骨在股骨及胫骨的不同部位的厚度亦不同。正常膝关节不同区域软骨厚度分布见表 1。其中以髌软骨和股骨滑车处的软骨厚度最大, 股骨外侧髁处软骨厚度最小。对比各区域内不同性别和同性别中不同侧别的软骨厚度, 其差异均无统计学差异 ( $P > 0.05$ )。股骨髁承重区软骨分布如图 4, L1、L2、L3、L4 代表股骨外侧髁图 2 中 B、A、C、D 处软骨的最大厚度。同样 M1、M2、M3、M4 代表股骨内侧髁 B、A、C、D 处软骨的最大厚度。其中股骨髁软骨与胫骨平台接触处软骨厚度明显大于其它区域 ( $P < 0.05$ )。

## 3 讨论

### 3.1 膝关节软骨形态测量的可靠性与准确性

准确而及时地评价体内关节软骨的厚度和形态是了解膝关节功能形态及许多疾病的基础。因此, 选择一种能够准确定量软骨的方法显得尤为重要。关节造影对软骨表面形态显示有较高的准确性, 但其具有创伤性并且费时, 应用受到限制。关节镜检查可以直观地观察软骨的形态, 是软骨退变检查的金标准, 但它具有创伤性, 并可引起严重的并发症。常规 X 射线和 CT 技术不能直接显示关节软骨, 只能通过骨赘形成、关节间隙变窄等间接征象来反映关节软骨的情况。MRI 有着多种脉冲成像序列, 对于评价膝关节软骨形态效果显著, 临床实践表明, 目前 MRI 对关节软骨损伤的诊断准确率高达 80%~90%, 是早期诊断关节软骨损伤的最有效的无创性技术<sup>[3,4]</sup>。鉴于 MRI 的多种成像序列对于软骨的形态显示效果好、准确率高、具有侵入性且对人体无辐射等优点, 我们选择利用 MRI 对软骨进行成像并观察其形态特征。

医学图像中特定目标的检测技术是科研人员努力研究的对象, 它对于辅助诊断、手术导航、康复监测、治疗评价等都具有重要意义。我们采用数字化技术对膝关节软骨形态进行测量。计算机辅助的数字化三维重建技术在医学领域的广泛应用, 使得二维影像的三维重建已经实现, 数字化三维重建技术可直接将连续的断层按原来的空间位置重建起来, 呈现物体的三维影像。利用三维重建软件不仅能进

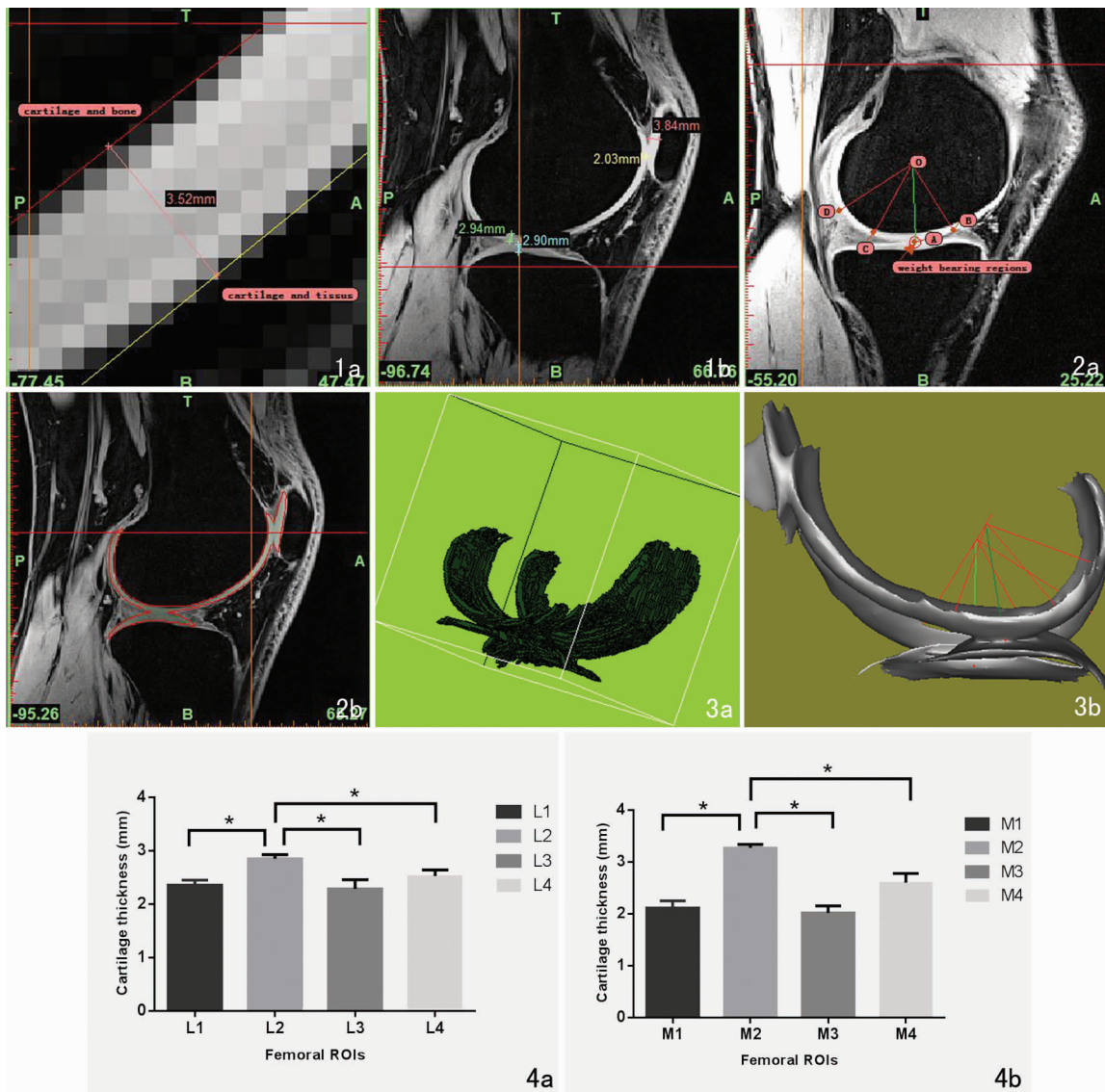


图1 软骨厚度测量示意图 1a 确定软骨-软骨下骨界面与软骨-软组织界面,使用测量工具测量两界面的垂直最短距离 1b 为膝关节软骨厚度矢状位测量结果 图2 膝关节承重区的选择示意图 2a 为膝关节矢状位观,A点所在区域为膝关节的承重区 2b 为膝关节软骨分割示意图 图3 膝关节软骨的三维示意图 3a 为软骨三维重建后在三维窗口中进行编辑 3b 为正常膝关节软骨三维重建后侧面观示意图 图4 股骨内外髁不同区域的软骨厚度分布 4a 股骨外侧髁 4b 股骨内侧髁 \*表示两组数据有统计学差异( $P < 0.05$ )

**Fig. 1 Schematic diagram of cartilage thickness measurement** 1a Determine the cartilage - subchondral bone interface and cartilage - soft tissue interface, and measure two interface vertical shortest distance 1b Results of the knee joint cartilage thickness(sagittal view) **Fig. 2 Illustrated knee joint weight bearing regions selection** 2a "A" point area was the knee joint bearing region(sagittal view) 2b Segmentation of the knee joint cartilage **Fig. 3 Three dimensional schematic diagram of the knee joint cartilage** 3a Edited the cartilage in the three dimensional window 3b Three dimensional morphology of knee joint cartilage (lateral view) **Fig. 4 Knee joint cartilage thickness of the lateral and medial femoral condyle** 4a The lateral femoral condyle 4b Femoral medial condyle. In the figure \* means the two sets of data had statistically significant differences( $P < 0.05$ )

表1 膝关节不同区域的软骨厚度(mm,  $\bar{x} \pm s, n = 100$ )

Tab. 1 Thickness of the knee joint cartilage on each region(mm,  $\bar{x} \pm s, n = 100$ )

性别 Gender	侧别 Side	胫骨外侧平台 Tibia lateral platform	胫骨内侧平台 Tibia medial platform	股骨外侧髁 Femoral lateral condyle	股骨内侧髁 Femoral medial condyle	髌软骨 Patellar cartilage	股骨滑车软骨 Femoral trochlea cartilage
男(Male)	左侧(Left)	3.18 ± 0.07	2.98 ± 0.08	2.90 ± 0.04	3.14 ± 0.12	3.68 ± 0.07	3.54 ± 0.06
	右侧(Right)	3.17 ± 0.41	3.07 ± 0.14	2.85 ± 0.06	3.27 ± 0.07	3.74 ± 0.02	3.49 ± 0.10
女(Female)	左侧(Left)	3.17 ± 0.07	3.08 ± 0.04	2.93 ± 0.05	3.20 ± 0.09	3.80 ± 0.10	3.66 ± 0.07
	右侧(Right)	3.21 ± 0.09	3.14 ± 0.07	2.96 ± 0.08	3.21 ± 0.16	3.79 ± 0.10	3.63 ± 0.01

行简单的距离、角度的测量,而且能够对曲线、曲面、曲率测量,并进行曲面拟合,测量出复杂关节的面积、倾斜角等主要解剖学数据。可在三维立体解剖结构上从任意角度和方向进行观察,也为解剖学的发展提供了新的研究途径。膝关节软骨 MRI 检测关键技术主要包括图像分割、厚度测量和三维重建。MRI 测量关节软骨厚度,需要首先清晰地认定软骨-骨和软骨-滑液界面准确的分割软骨<sup>[5,6]</sup>。我们使用 MIMICS 医学图像处理软件对 DIMOM 格式的图像从各个方向进行观察并对特定区域进行分割重建,利用其自带的测量工具可进行三维编辑、测量。当然,测量软骨的厚度也存在一些问题,如在 MRI 图像上准确的定位软骨-软骨下骨界面与软骨-软组织界面主观性强且需具备一定的专业知识。对软骨的分割采用手动逐层分割耗时耗力,在图像重建过程中由于扫描参数与手动分割的原因,重建后的图像与实际软骨存在误差。

### 3.2 膝关节承重区域选择与膝关节厚度分布特点

关节软骨能够最大限度的承受关节的力学负荷,关节的生物力学改变影响关节软骨的厚度及体积,导致软骨损伤及关节病变。而在膝关节运动过程中,膝关节承重区的软骨在力学负荷下的形态变化与许多疾病密切相关,如何准确地确定这些特定区域的软骨形态特点是测量的重点<sup>[7]</sup>。既往文献中膝关节软骨的测量只概括为股骨内髁或股骨外髁中间矢状面的前、中、后 3 个部位,或被概括为负重面和非负重面,测量可重复性差,不能准确、真实地反映和描述软骨的厚度和分布情况<sup>[8,9]</sup>。Andriacchi 等<sup>[10]</sup>研究正常步态特征发现,在正常的行走过程中膝关节屈曲角度为 0°到 30°,而在摇摆阶段屈曲角度为 30°到 60°。Nahass 等<sup>[11]</sup>发现股骨向后滚动存在运动依赖性,平均为 10.6 ~ 13.9 mm。在进行各种行走活动时,膝关节的旋转中心是不断变化的,胫股关节表面接触点位置也是不断发生变化的。Victor 等<sup>[12,13]</sup>研究发现,膝关节外科髁上轴(STEA)通过内、外侧副韧带的起点,不但解剖上实用,也是膝关节功能性屈曲伸直轴,具有可重复性。基于膝关节的生物力学轴线和正常的步态特征,我们首先确定股骨远端的外科髁上轴,图 2 中 O 点即为矢状面上外科髁上轴的一点。然后选择膝关节承重区的不同区域,即股骨内外髁分为 B、A、C、D 等区域。操作简单,解剖标志明确,可重复性强。

测量结果表明膝关节软骨的分布是不均匀的,膝关节软骨在股骨及胫骨的不同部位的厚度也不同。其中髁软骨厚度最大,为 3.75 mm,股骨外侧髁处软骨厚度最小,为 2.93 mm。三维重建关节软骨,

可多方面观察软骨的形态特征,测量其体积可反映局部软骨受损情况。在所测量的结果中,各个区域不同性别和侧别间软骨厚度差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。胫股关节承重区软骨厚度大于其他区域,即在正常成人膝关节股骨髁处软骨接触区 B 点所在区域的软骨厚度大于其它 A、C、D 等区域。我们可看作在胫股关节股骨髁承重区软骨厚度大于非承重区域。膝关节不同区域软骨应力不一致,我们的测量结果表明,成人股骨髁承重部位的软骨厚度与膝关节的承重相关。外伤等损伤改变了膝关节正常的生物力学,使膝关节的正常接触点发生改变,也使膝关节的力学分布发生改变,从而导致膝关节退变。膝关节运动复杂,不仅有沿冠状轴上的屈伸,同时还有沿垂直轴的旋转和水平面上的滑动,在膝关节运动过程中,软骨的承重压力也相应的发生改变。由于体内半月板的生物力学定量研究十分复杂,目前仍是生物工程研究的一个挑战,所以我们未考虑半月板对膝关节承重区软骨厚度的影响。

### 参 考 文 献

- 1 Woollard JD, Gil AB, Sparto P, et al. Change in knee cartilage volume in individuals completing a therapeutic exercise program for knee osteoarthritis. *Orthop Sports Phys Ther.* 2011, 41(10): 708 - 722
- 2 Heijink A, Gomoll AH, Madry H, et al. Biomechanical considerations in the pathogenesis of osteoarthritis of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012, (20): 423 - 435
- 3 Kuikka PI, Kiuru MJ, Niva MH, et al. Sensitivity of routine 1.0 - T Magnetic Resonance Imaging versus arthroscopy as gold standard in fresh traumatic chondral lesions of the knee in young adults. *Arthroscopy.* 2006, 22(10): 1033 - 1039
- 4 Trattning S, Millington SA, Szomolanyi P, et al. MR imaging of osteochondral grafts and autologous chondrocyte implantation. *European Radiology.* 2007, 17(1): 103 - 118
- 5 Bowers ME, Trinh N, Tung GA, et al. Quantitative MR imaging using "LiveWire" to measure tibiofemoral articular cartilage thickness. *Osteoarthritis and Cartilage.* 2008, (16): 1167 - 1173
- 6 Li Guoan, Louis E, Ji Lunan, et al. The cartilage thickness distribution in the tibiofemoral joint and its correlation with cartilage - to - cartilage contact. *Clinical Biomechanics.* 2005, (20): 736 - 744
- 7 Huntery DJ, Liy L, Zhang YQ, et al. Region of interest analysis: by selecting regions with denuded areas can we detect greater amounts of change? *Osteoarthritis and Cartilage.* 2010, (18): 175 - 183
- 8 Carballido - Gamio J, Bauer JS, Lee KY, et al. Inter - subject comparison of MRI knee cartilage thickness. *Medical Image Analysis.* 2008, (12): 120 - 135
- 9 Koo S, Gold GE, Andriacchi TP. Considerations in measuring cartilage thickness using MRI: factors influencing reproducibility and accuracy. *OsteoArthritis and Cartilage.* 2005, 13: 782 - 789
- 10 Andriacchi TP, Mundermann A, Smith RL, et al. A framework for the in vivo pathomechanics of osteoarthritis at the knee. *Ann Biomed Eng.* 2004, 32: 447 - 457