

· 临床研究 ·

健康青年人的膝关节软骨厚度 3.0T MRI 的定量研究

李阳,唐金烁,周忠圣,王晨宇,彭亚臣,左建林
(吉林大学中日联谊医院,吉林 长春 130000)

【摘要】 目的:探讨 3.0T MRI 精确测量健康青年膝关节软骨厚度为骨关节炎的定量诊断和关节置换精准截骨提供可靠的解剖参数。方法:自 2013 年 1 月至 2013 年 12 月于吉林省长春地区招募 30 名健康青年志愿者,男 14 名,女 16 名,年龄 22~33(25.8±2.4)岁。对每名志愿者的双膝关节进行 3.0 T MRI 扫描,对股骨外侧髁(lateralis femoris condylus, LFC)、股骨内侧髁(medialis femoris condylus, MFC)、胫骨外侧平台(lateral tibial plateau, LTP)、胫骨内侧平台(medial tibial plateau, MTP)进行软骨厚度测量。结果:在 LFC、MFC、LTP、MTP 4 个区域中,无论青年男性或女性,左、右侧膝关节软骨厚度比较,差异均无统计学意义($P>0.05$);健康青年男性与女性之间膝关节软骨厚度比较,差异有统计学意义($P<0.05$)。在同一性别组,LFC 软骨厚度中间较薄,前、后方较厚;MFC 软骨厚度前方最薄,从前方向后方逐渐增厚;LTP 软骨厚度中间最厚,后方次之,前方最薄;MTP 软骨厚度前方最薄,中间、后方相对均匀且均较前方厚。结论:在我国 22~33 岁正常健康青年人中,性别差异可能是膝关节各个区域软骨厚度差异的重要因素。无论男性或女性健康青年人,整个膝关节软骨厚度分布不均匀,但左、右侧膝关节相同区域软骨厚度无明显差异。

【关键词】 膝关节; 核磁共振成像; 关节软骨; 软骨厚度

中图分类号:R814

DOI:10.12200/j.issn.1003-0034.2023.11.011

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Quantitative study of 3.0T MRI on the thickness of knee joint cartilage in healthy young people

Li Yang, TANG Jin-shuo, ZHOU Zhong-sheng, WANG Chen-yu, PENG Ya-chen, ZUO Jian-lin (Jilin University China-Japan Friendship Hospital, Changchun 130000, Jilin, China)

ABSTRACT Objective To explore 3.0T MRI accurate measurement of knee cartilage thickness in healthy youth provides reliable anatomical parameters for quantitative diagnosis of osteoarthritis and accurate osteotomy of joint replacement. **Methods** From January 2013 to December 2013, 30 healthy young volunteers including 14 males and 16 females with an average age of (25.8±2.4) years old ranging from 22 to 33 years were recruited in Changchun, Jilin Province, and a 3.0T MRI scan was performed on the bilateral knee joints of each volunteer. The cartilage thickness was measured on the lateral femoral condyle (LFC), medial femoral condyle (MFC), lateral tibial plateau (LTP) and medial tibial plateau (MTP). **Results** In four regions of the knee joint: LFC, MFC, LTP and MTP, whether young men or women, there was no significant difference in cartilage thickness between the left and right knee joints ($P>0.05$). There were significant differences in knee cartilage thickness between healthy young men and women ($P<0.05$). In the same sex group, LFC cartilage thickness was thinner in the middle, thicker in front and rear; MFC cartilage thickness was the thinnest in front and gradually thickening from the front to the rear; LTP cartilage thickness was thickest in the middle, second in the rear and thinnest in the front; MTP cartilage thickness was the thinnest in the front, was relatively uniform in the middle and rear and thicker than that in the front. **Conclusion** In Northeast China, among healthy adults aged 22 to 33, gender difference may be an important factor in the difference of cartilage thickness in various regions of the knee joint. Regardless of whether male or female healthy young people, the cartilage thickness of the entire knee joint is unevenly distributed, but there is no significant difference in cartilage thickness in the same area between the left and right knee joints.

KEYWORDS Knee joint; Magnetic resonance imaging, MRI; Articular cartilage; Cartilage thickness

膝关节作为人体最大的关节,也是人体活动最多的关节,承担跑步、身体负重等多种功能性活动,

其病损的发生率高^[1-2]。研究表明,关节软骨的厚度和膝关节疾病的严重程度密切相关,通常关节软骨变得越薄,关节疾病的程度越重。因此,准确了解正常膝关节软骨的厚度对于疾病的早期诊断、有效干预及预后评估具有重要意义^[3-5]。同时,初始的正常

通讯作者:左建林 E-mail:zuojl@jlu.edu.cn

Corresponding author: ZUO Jian-lin E-mail:zuojl@jlu.edu.cn

软骨厚度也是人工关节置换术中截骨厚度的重要依据。MRI 是目前观察和评估关节软骨最敏感且无创性的影像学检查。T2 mapping 成像能够对软骨基质中胶原纤维排列方向和水分子含量进行定量分析^[6-8]。目前已有相关文献报道膝关节骨关节炎患者和健康志愿者之间的关节软骨厚度的研究,但鲜有对于健康青年人膝关节软骨厚度的研究,本研究于 2013 年 1 月至 2013 年 12 月招募长春地区青年志愿者,旨在通过 3.0 T MRI 精确测量健康青年膝关节软骨厚度,为骨关节炎的定量诊断和关节置换精准截骨提供可靠的解剖参数。

1 资料与方法

1.1 一般资料

招募长春地区健康青年志愿者 30 名,女 16 名,男 14 名,年龄为 22~33(25.8±2.4)岁,身体质量指数(body mass index,BMI)为 18.5~24.0(21.12±1.74) kg·m⁻²,无外伤史,无膝关节疾病史及手术史,按国际软骨修复协会分级^[5],膝关节软骨形态在 MRI 上等级评定为 0 级。

1.2 方法

采用 Siemens 3.0 T 高场强磁共振扫描仪,15 通道膝关节表面线圈。扫描序列包括高分辨冠状位、矢状位、横轴位质子脂肪抑制序列(fat saturation protein density weighted imaging,FS-PDWI)、矢状位 T2 图。

1.3 测量方案

数据传至 Mimics Research 19.0 软件,由 2 名在读研究生经培训后独立完成数据的测量和记录。将每个膝关节的股骨内侧髁、股骨外侧髁、胫骨内侧平台、胫骨外侧平台作为感兴趣区域,测量及记录相应区域软骨厚度。

1.4 软骨厚度测量方法

测量软骨厚度统一为软骨表面至“潮线”的距离。“潮线”(tidemark)是一种明确的组织学结构,位于关节软骨的放射层和钙化软骨之间,通常为略有波浪的直线。选择通过胫骨平台内、外 1/4 交界处的矢状面图像为测量层面,在此层面上画股骨断线前后缘的连线,通过该线段的中点分别画与该线成 45°、90°、135°角的直线,此 3 条直线与软骨的交点即为测量点,3 个测量点的平均值作为该股骨区域的软骨厚度值;在相同的层面选取胫骨平台关节软骨前 1/4 交界处、中点、后 1/4 交界处作为测量点(图 1),3 个测量

点的平均值作为该胫骨区域的软骨厚度值。测量精确度为 0.01 mm。

1.5 统计学处理

采用 SPSS 19.0 软件进行统计学分析,定量资料以均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示,男、女组间年龄,BMI,左、右膝以及男、女之间各个区域软骨厚度的分析,采用独立样本 *t* 检验。以 *P*<0.05 为差异有统计学意义。

2 结果

健康青年男、女志愿者年龄、BMI 见表 1,男性与女性之间年龄比较,差异无统计学意义(*P*>0.05),BMI 比较,差异有统计学意义(*P*<0.05)。见表 1。

表 1 健康青年志愿者 30 名不同性别间年龄和 BMI 比较 ($\bar{x}\pm s$)

Tab.1 Comparison of age and BMI between different sexenders in 30 healthy young volunteers($\bar{x}\pm s$)

性别	例数	年龄/岁	BMI/(kg·m ⁻²)
男	14	26.14±2.91	22.13±1.41
女	16	25.50±2.00	20.25±1.54
<i>t</i> 值		0.7135	3.4601
<i>P</i> 值		0.241	0.001

在膝关节 4 个区域:股骨外侧髁、股骨内侧髁、胫骨外侧平台、胫骨内侧平台,健康青年男性和女性左、右侧膝关节平均软骨厚度值见表 2,3,无论青年男性或青年女性,其左侧与右侧膝关节软骨厚度比较,差异均无统计学意义(*P*>0.05),而男女之间软骨厚度比较,差异均有统计学意义(*P*<0.05)。

负重区与非负重区软骨厚度在男性、女性测量结果见表 4,在膝关节股骨外侧髁区域无论男性或女性,其负重区软骨厚度较非负重区薄(*P*<0.05);在

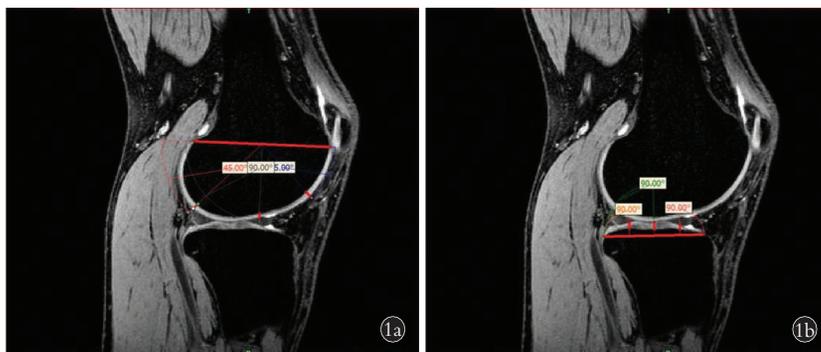


图 1 在 3.0 T MRI 矢状位上利用 Mimics 软件对青年男性右膝股骨外侧髁和胫骨外侧平台的前方、中间、后方软骨进行精确测量 1a. 股骨外侧髁 1b. 胫骨外侧平台

Fig.1 Precise measurements of the anterior, medial, and posterior cartilages of the lateral femoral condyle and lateral tibial plateau of a young male right knee using Mimics software in a sagittal view at 3.0T MRI 1a. Lateral femoral condyle 1b. Lateral tibial plateau

表 2 健康青年志愿者 30 名不同性别和不同侧别膝关节软骨厚度比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of knee cartilage thickness in different gender and lateral divisions in 30 healthy young volunteers($\bar{x}\pm s$) 单位:mm

侧别	例数	男(n=14 例)				女(n=16 例)			
		股骨外髁	股骨内髁	胫骨外侧平台	胫骨内侧平台	股骨外髁	股骨内髁	胫骨外侧平台	胫骨内侧平台
左侧	30	2.98±0.03	3.02±0.03	3.12±0.09	2.48±0.03	2.18±0.08	1.98±0.05	2.60±0.11	1.98±0.10
右侧	30	2.95±0.06	3.00±0.04	3.05±0.16	2.47±0.03	2.15±0.07	1.97±0.02	2.62±0.06	1.96±0.06
t 值		1.549	1.721	1.352	0.737	0.889	0.804	-0.646	0.602
P 值		0.137	0.098	0.195	0.468	0.381	0.431	0.525	0.553

膝关节股骨内侧髁区域,无论男性或女性,负重区与非负重区软骨厚度,差异均无统计学意义($P>0.05$)。

在同一性别中,股骨外侧髁软骨厚度中间较薄,前、后方较厚;股骨内侧髁软骨厚度前方最薄,从前方后方逐渐增厚;胫骨外侧平台软骨厚度中间最厚,后方次之,前方最薄;胫骨内侧平台软骨厚度前方最薄,中间、后方相对均匀,且均较前方厚。见表 5。

3 讨论

正常人膝关节软骨广泛附着于膝关节的骨性关节面上,呈曲面,且不同部位的厚度不同^[3-4]。测量软骨厚度主要问题是无固定的解剖标志,也没有标准

表 3 健康青年志愿者 30 名不同性别间膝关节软骨厚度比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.3 Comparison of knee cartilage thickness between sexes in 30 healthy young volunteers($\bar{x}\pm s$) 单位:mm

性别	例数	股骨外髁	股骨内髁	胫骨外侧平台	胫骨内侧平台
男	14	2.97±0.05	3.01±0.03	3.09±0.13	2.48±0.03
女	16	2.16±0.08	1.98±0.04	2.61±0.09	1.97±0.08
t 值		48.391	112.751	30.067	31.986
P 值		0.000	0.000	0.000	0.000

表 5 健康青年志愿者 30 名不同性别膝关节各区域前中后方软骨厚度比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.5 Comparison of knee cartilage thickness of anterior, middle and posterior cartilage in various regions of the knee joint in 30 healthy young volunteers($\bar{x}\pm s$) 单位:mm

性别	例数	股骨外髁			股骨内髁			胫骨外侧平台			胫骨内侧平台		
		前	中	后	前	中	后	前	中	后	前	中	后
男	14	3.24±0.08	2.43±0.08	3.22±0.07	2.75±0.06	3.02±0.06	3.25±0.05	2.50±0.07	3.55±0.35	3.21±0.19	2.35±0.05	2.55±0.04	2.53±0.04
		前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后	前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后	前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后	前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后
		39.214	-40.194	0.804	-16.157	-15.206	-34.224	-59.248	25.107	-48.510	-15.279	1.379	-13.76
		0	0	0.425	0	0	0	0	0	0	0	0.174	0
女	16	2.20±0.13	1.86±0.07	2.44±0.15	1.74±0.07	1.96±0.06	2.24±0.10	1.95±0.07	3.04±0.10	2.85±0.20	1.89±0.07	2.04±0.13	1.98±0.12
		前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后	前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后	前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后	前 vs 中	中 vs 后	前 vs 后
		12.744	-19.423	-6.809	-13.812	-13.460	-23.299	-51.126	4.784	-23.475	-5.569	1.812	-3.513
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.075	0.001

表 4 健康青年志愿者 30 名不同性别膝关节股骨负重区与非负重区软骨厚度比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.4 Comparison of knee cartilage thickness in different gender and in weight-bearing area and non-weight-bearing area of femoral knee joint in 30 healthy young volunteers ($\bar{x}\pm s$) 单位:mm

区域	例数	男(n=14 例)		女(n=16 例)	
		股骨外髁	股骨内髁	股骨外髁	股骨内髁
负重区	30	2.43±0.08	3.02±0.06	1.86±0.07	1.96±0.06
非负重区	30	3.23±0.06	3.00±0.04	2.32±0.09	1.99±0.05
t 值		-42.965	1.155	-20.687	-1.912
P 值		0.000	0.254	0.000	0.061

的测量点,因而实际测量的可重复性差。唐艳华等^[3]选择膝关节股骨内、外侧髁以及胫骨内、外侧平台在 MRI 冠状位上软骨显示最厚的层面进行 4 等分测量,该方法很好地反映出了股骨髁远端及对应胫骨平台局部区域的软骨厚度,其缺点就是无法测量和反映膝关节股骨髁前后方以及胫骨平台前后方软骨厚度和其分布情况。孔延亮等^[4]选择的测量层面与本研究一致,即通过胫骨平台外 1/4 交界处的矢状

面图像,该层面能很好显示关节软骨,利用骺线这一固定的解剖标志,定位点比较容易准确掌握。但此人的研究选择的测量点太少(股骨侧 2 个、胫骨侧 1 个),无法准确的描述股骨髁曲面及胫骨平台平面的软骨分布情况。冷晓明等^[9]采用核磁三维重建关节软骨,并测量重建软骨的体积。这种测量方法较繁琐且难度大,也没有固定或明确的测量点。同时当软骨局灶性出现破坏时,其总体积变化也可能不大,此时不能反映局部软骨受损情况^[1-2]。本研究的测量方案将膝关节股骨内、外侧髁及胫骨内、外侧平台在 MRI 矢状位的选取层面上,各自分成前中后三份,此方法优点是测量软骨的可重复性好,并且取点多可以更全面反映整个膝关节软骨厚度以及分布情况。

利用 MRI 测量膝关节软骨厚度,首先需要清晰地辨别软骨-骨和软骨-滑液界面^[6]。正常健康人膝关节滑液一般<4 ml,且在膝关节腔内分散分布,此时软骨厚度测量时可以忽略。而软骨-骨界面显示的是软骨深层的钙化层,即“潮线”^[10]。这样测量点均为软骨表面至“潮线”,测量出的软骨厚度也必然比实际的软骨厚度薄。

本次研究的结果中,健康青年男性的膝关节软骨厚度平均值在各感兴趣区域中均比健康青年女性大,这与其他学者^[3,10-11]对正常人膝关节软骨厚度的研究结果一致。在各区域中,股骨内髁从前向后软骨厚度平均值逐渐增加,胫骨内侧平台软骨厚度较均匀,股骨外髁软骨前、后部分较厚,中间薄;胫骨外侧平台厚度变化最大,前方最薄,中间最厚,后方较厚。

有文献报道女性患骨性关节炎的风险比男性更高,其在软骨体积损失方面的流行病学和发生率也较高^[12-13]。尽管性别差异的机制尚未完全清楚,但已有研究表明其中的原因可能包括在儿童期软骨发育较少,女性绝经后软骨流失比例高,以及随着年龄的增加而加重的软骨损伤^[1-2,14]。本研究结果显示健康青年男、女之间软骨厚度比较差异有统计学意义($P < 0.05$),排除了女性绝经后软骨高比例流失和随年龄增长而出现的软骨损伤等因素,提示男性、女性之间软骨可能在发育上就存在差异。有文献报道^[15]显示性激素(雌二醇和孕酮)受体已经在人类软骨中发现,表明软骨可以接受性激素的反馈作用。雌激素可以刺激软骨细胞增殖。雄激素由性腺合成渗透进软骨细胞,在软骨细胞内由芳香酶转化成雌激素^[16-17],具体机制为雄激素通过位于关节软骨细胞、细胞质和软骨下骨内的两种类型的雌激素受体-ERa 和 ERb-的激活来完成这一转化^[18-19]。因此,男女之间性激素水平不同可能对软骨厚度的形成有一定影响。

健康青年男性与女性之间膝关节软骨厚度的差

异,还有可能与男性日常运动量比女性相对较多有关。成熟的关节软骨,由于胶原蛋白和糖胺聚糖含量及胶原纤维取向和细胞密度的差异,在结构上自关节面由浅至深大致可分为非钙化软骨层和钙化软骨层,其中,非钙化软骨层又称透明软骨层,包含浅表层、过渡层、辐射层、钙化软骨层,再往深面为软骨下骨^[20]。关节软骨无血管及淋巴管,关节软骨的营养通过滑液弥散实现,关节的运动挤压可以使滑液通过软骨基质营养细胞。这就为运动量的提高可能增加膝关节软骨厚度提供理论基础。这一结论与 MOSHER 等^[21]研究的青年马拉松运动员软骨厚度较正常对照组软骨厚的结果一致,也与 ECKSTEIN 等^[22]设计研究 18 名三项全能运动员和 18 名健康志愿者对照,运动员软骨厚度较志愿者厚的结果一致。

综上所述,性别差异是健康青年人膝关节软骨厚度差异的重要因素,可能包括性激素水平以及运动量等多方面原因。无论男性或女性健康青年人,整个膝关节软骨厚度分布是不均匀的,但左、右侧膝关节之间相同区域软骨厚度无明显差异。因此,在今后的临床研究中,需要考虑男、女之间膝关节软骨厚度的差异,膝关节不同区域软骨厚度的差异,暂不需要考虑左、右侧膝关节软骨厚度的差异。

本研究主要针对健康青年志愿者,年龄比较局限(22~32 岁),且纳入的样本量较少,可能存在一定误差。进一步研究可以纳入不同年龄阶段志愿者,且扩大研究的样本量,优化软骨测量方法,以便更全面更精确地研究国人膝关节软骨的厚度和分布情况。

参考文献

- [1] 辛龙,张春,徐卫星,等. 膝关节软骨损伤的外科治疗进展[J]. 中国骨伤,2018,31(3):281-285.
XIN L,ZHANG C,XU W X,et al. Current advances on surgical treatment for knee articular cartilage injuries[J]. China J Orthop Traumatol,2018,31(3):281-285. Chinese.
- [2] 潘育松,丁国新,王静. 关节软骨损伤和缺损修复策略[J]. 中国骨伤,2013,26(2):175-178.
PAN Y S,DING G X,WANG J. Research on repair strategies for articular cartilage defects[J]. China J Orthop Traumatol,2013,26(2):175-178. Chinese.
- [3] 唐艳华,徐贤,江波,等. 3.0 T 磁共振成像对健康青年人膝关节软骨 T2 值及厚度的定量分析[J]. 中国医学科学院学报,2013,35(2):131-135.
TANG Y H,XU X,JIANG B,et al. T2 mapping and knee thickness measurement in healthy young adults using quantitative 3.0 T magnetic resonance imaging[J]. Acta Acad Med Sin,2013,35(2):131-135. Chinese.
- [4] 孔延亮,强永乾,董宝明,等. 3D-WATS 序列与 T2 mapping 测量正常成年男性膝关节软骨厚度的研究[J]. 临床放射学杂志,2013,32(11):1626-1629.
KONG Y L,QIANG Y Q,DONG B M,et al. The value of 3DWATS and T2 mapping on the measurement of normal adult male knee joint

- cartilage thickness[J]. *J Clin Radiol*, 2013, 32(11):1626-1629. Chinese.
- [5] HALL F M, WYSHAK G. Thickness of articular cartilage in the normal knee[J]. *J Bone Joint Surg Am*, 1980, 62(3):408-413.
- [6] 杨光月, 郭海玲, 李涛, 等. 磁共振技术评估膝关节软骨退变研究进展[J]. *中国骨伤*, 2016, 29(11):1061-1067.
YANG G Y, GUO H L, LI T, et al. Progress on magnetic resonance imaging for evaluating the articular cartilage of the knee joint[J]. *China J Orthop Traumatol*, 2016, 29(11):1061-1067. Chinese.
- [7] 罗慕晴, 冯智超, 廖云杰, 等. 定量磁共振成像技术在评估关节软骨退行性变中的应用进展[J]. *磁共振成像*, 2018, 9(11):874-880.
LUO M Q, FENG Z C, LIAO Y J, et al. Advances in the application of quantitative magnetic resonance imaging for evaluating the degenerative changes of articular cartilage[J]. *Chin J Magn Reson Imag*, 2018, 9(11):874-880. Chinese.
- [8] MOSHER T J, DARDZINSKI B J. Cartilage MRI T2 relaxation time mapping:overview and applications[J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2004, 8(4):355-368.
- [9] 冷晓明, 刘斯润, 黄力, 等. 正常成年人膝关节软骨的 MR 多序列比较研究[J]. *实用放射学杂志*, 2003, 19(1):57-60.
LENG X M, LIU S R, HUANG L, et al. Normal articular cartilage of the adult knee:evaluated with multiple MR sequences imaging[J]. *J Pract Radiol*, 2003, 19(1):57-60. Chinese.
- [10] 孙英彩, 崔建岭, 李石玲, 等. MRI 测量正常人膝关节软骨厚度[J]. *实用放射学杂志*, 2004, 20(11):1007-1010.
SUN Y C, CUI J L, LI S L, et al. To measure the articular cartilage thickness using MRI in the normal knee joint[J]. *J Pract Radiol*, 2004, 20(11):1007-1010. Chinese.
- [11] 黄继良, 李秉忠, 叶丽娟. 正常成人膝关节软骨的低场 MRI 表现[J]. *中国临床研究*, 2013, 26(5):489-491.
HUANG J L, LI B Z, YE L J. Low-field MRI manifestations of normal adult knee cartilage[J]. *Chin J Clin Res*, 2013, 26(5):489-491. Chinese.
- [12] HANNA F S, TEICHTAHL A J, WLUKA A E, et al. Women have increased rates of cartilage loss and progression of cartilage defects at the knee than men;a gender study of adults without clinical knee osteoarthritis[J]. *Menopause*, 2009, 16(4):666-670.
- [13] DING C H, CICUTTINI F, BLIZZARD L, et al. A longitudinal study of the effect of sex and age on rate of change in knee cartilage volume in adults[J]. *Rheumatology*, 2007, 46(2):273-279.
- [14] DING C, CICUTTINI F, JONES G. Tibial subchondral bone size and knee cartilage defects:relevance to knee osteoarthritis[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2007, 15(5):479-486.
- [15] BEN-HUR H, THOLE H H, MASHIAH A, et al. Estrogen, progesterone and testosterone receptors in human fetal cartilaginous tissue:immunohistochemical studies[J]. *Calcif Tissue Int*, 1997, 60(6):520-526.
- [16] PAEZ-PEREDA M, KUCHENBAUER F, ARZT E, et al. Regulation of pituitary hormones and cell proliferation by components of the extracellular matrix[J]. *Rev Bras De Pesquisas Med E Biol*, 2005, 38(10):1487-1494.
- [17] TIVESTEN A, MOV? RARE-SKRTIC S, CHAGIN A, et al. Additive protective effects of estrogen and androgen treatment on trabecular bone in ovariectomized rats[J]. *J Bone Miner Res*, 2004, 19(11):1833-1839.
- [18] GANESAN K, BALACHANDRAN C, MANOHAR B M, et al. Comparative studies on the interplay of testosterone, estrogen and progesterone in collagen induced arthritis in rats[J]. *Bone*, 2008, 43(4):758-765.
- [19] RACHON D, SEIDLOVA-WUTTKE D, VORTHERMST, et al. Effects of dietary equol administration on ovariectomy induced bone loss in Sprague-Dawley rats[J]. *Maturitas*, 2007, 58(3):308-315.
- [20] 敖彘农, 李忠, 张成昌, 等. 关节软骨钙化层相关研究进展[J]. *中国矫形外科杂志*, 2019, 27(8):722-725.
AO Y N, LI Z, ZHANG C C, et al. Research progress on calcified cartilage zone[J]. *Orthop J China*, 2019, 27(8):722-725. Chinese.
- [21] MOSHER T J, LIU Y, TOROK C M. Functional cartilage MRI T2 mapping:evaluating the effect of age and training on knee cartilage response to running[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2010, 18(3):358-364.
- [22] ECKSTEIN F, FABER S, MUHLBAUER R, et al. Functional adaptation of human joints to mechanical stimuli[J]. *Osteoarthritis Cartilage*, 2002, 10(1):44-50.

(收稿日期:2022-02-20 本文编辑:王玉蔓)