

论 著

手动图像分割技术在严重膝关节骨性关节炎定量研究中的应用

广东省中山市中医院医学影像科
(广东 中山 528400)

曹明明 刘树学

【摘要】目的 应用ITK-SNAP软件手动分割、定量评价严重退变的膝关节软骨。方法 采集32个退变严重的膝关节三维容积磁共振数据,手动分割后计算四个软骨单元体积、股骨髁体积,并比较各软骨单元的差异,且进行各软骨单元与年龄、性别以及股骨髁容积的一元、多元线性回归分析。结果 各软骨单元体积存在显著统计差异,且各软骨单元体积与股骨髁体积间存在相关性,其与性别、年龄无相关性。结论 手动分割技术能够获得严重退变的膝关节软骨的定量数据。

【关键词】关节软骨;图像分割;膝关节;磁共振成像

【中图分类号】R681.2; R445.2

【文献标识码】A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2019.05.040

通讯作者: 刘树学

Application of Manual Image Segmentation in Quantitative Evaluation of Severe Knee Osteoarthritis

CAO Ming-ming, LIU Shu-xue. Department of Medical Imaging, Zhongshan Hospital of Traditional Chinese Medicine, Zhongshan 528400, Guangdong Province, China

[Abstract] **Objective** To quantitatively evaluate the cartilage of knee with severe degeneration by manual image segmentation with ITK-SNAP software. **Methods** The 3D MRI data of 32 Severely degenerative knee joints were collected, the volume of four cartilage cells and the volume of femoral condyle were calculated by manual segmentation, and the differences of each cartilage element were compared, and a single and multivariate linear regression analysis was performed for each cartilage element and age, sex and femoral condyle volume. **Results** There were significant differences between the volume of cartilage cells, and there was a correlation between the volume of each cartilage unit and the volume of femoral condyle, but no correlation with sex and age. **Conclusion** The quantitative data of the knee cartilage with severe degeneration can be obtained by manual segmentation.

[Key words] Articular Cartilage; Image Segmentation; Knee Joint; Magnetic Resonance Imaging

膝关节骨性关节炎严重影响患者的生存质量,具有很高的致残率^[1]。MRI已广泛应用于关节软骨形态学的研究及临床评价^[2,3]。以往已有很多基于图像分割技术的膝关节MRI软骨研究,大多数研究选取正常关节软骨,或是早期退变关节软骨^[4-10],并应用自动分割。自动分割可以加快关节软骨的提取速度,重复性好。但是关节软骨退变较严重时,其与周围组织的对比度下降,交界面处的数据提取会发生错误,此时,手动图像分割可以借助操作者的经验对软骨交界区进行评估,从而得出相对准确的结果。本研究旨在通过手动图像分割技术对严重退变的关节软骨进行定量评价,验证其可行性并总结实际操作中的经验,同时积累临床数据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 连续入组的方式收集2017.1月至2018.3月骨性关节炎患者31例(32个膝关节),其中男13例,女19例,年龄(69±8.20)岁,身高(166.73±7.24)cm, BMI (Body Mass Index) (26.81±4.26)。参照Kellgren-Lawrence分级标准,选取K-L 2-4级膝关节,如果两侧膝关节均存在退变的情况,选择临床症状相对较重的一个,如果临床症状无差异,则选择右侧膝关节。

1.2 膝关节MR扫描 入组病例均行3.0T扫描仪(GE Signa HDext Twin Speed 3.0T)检查,应用正交膝关节线圈。患者仰卧位,足先进,并在腘窝处垫海绵垫,保证膝关节屈曲约20°。具体扫描序列及参数如表1。

1.3 研究方法

1.3.1 各向同性3D图像后处理: ①软骨分区,根据膝关节软骨解剖划分软骨单元。具体方法如下:排除髌软骨后,股骨远端关节软骨由股骨滑车关节面中线分为股骨内侧关节软骨单元(MF)、股骨外

侧关节软骨单元(LF), 胫骨近端软骨由前交叉韧带附着出的软骨缺如区分为胫骨内侧关节软骨单元(MT)、胫骨外侧关节软骨单元(LT)。^②图像分割, 首先由磁共振扫描仪获得的膝关节3D MRI数据(DICOM格式)复制后, 分别导入两位骨关节磁共振专家(从事相关工作15年以上)的个人电脑, 并应用MRIcron软件转换获得NIFTI格式数据。其次启动ITK-SNAP软件(www.itksnap.org 3.6.0 version), 并导入NIFTI格式数据, 选择main toolbar 中的polygon mode沿软骨轮廓逐层进行分割(如图1-2), 当对局部轮廓不满意时, 可单击鼠标左键选中相应顶点, 向内向外进行调整, 并可添加(split)或删除(trim), 每一层图像分割满意后选择accept, 所有层面软骨轮廓勾画满意后, 点击update即可获得最终的3D软骨图像(如图3-4), 选择菜单栏中的segmentation下的volume and statistics可计算出各个软骨单元的体积数据。

1.3.2 股骨髁体积测量: 日本学者Harada等^[11]的研究表明膝关节软骨体积与股骨髁体积以及性别存在相关性, 关节软骨严重退变的病人中是否存在此种相关性国内没有相关文献报道。所以在我们的研究中亦对股骨髁的体积进行测量。其轮廓的勾画亦在3D FSPGR图像上进行, 前后缘及下缘对应于骨-软骨交界, 上缘则为前后缘顶点的连线。

1.4 统计学分析 首先, 将两位诊断医师的软骨单元体积求平均值, 应用IBM-spss19.0软件进行单因素方差分析(ANOVA), 分析四个软骨单元体积是否存在统计学差异($P<0.05$)。其次, 通过一元线性回归(Unary Linear Regression)分析各软骨单元与

年龄、性别以及股骨髁体积的各自的相关性, 并计算相关系数 $r(P<0.05)$; 通过多元线性回归(Multi factor line regression)分析, 计算各软骨单元体积与年龄、性别以及股骨髁体积的相关系数 $r(P<0.05)$ 。

2 结 果

四个软骨单元软骨体积分别为 $(4.78 \pm 1.11) \text{ cm}^3$ (LF)、 $(3.77 \pm 1.09) \text{ cm}^3$ (MF)、 $(1.96 \pm 0.51) \text{ cm}^3$ (LT)、 $(1.38 \pm 0.65) \text{ cm}^3$ (MT), 各软骨单元存显著统计学差异($P<0.05$)。股骨髁体积为 $(68.79 \pm 15.03) \text{ cm}^3$ (最小值31.63, 最大值93.68, 标准差15.03)。股骨髁软骨体积与四个软骨单元线性关系的散点图(图3), 四个软骨单元与各相关因素一元、多元线性回归分析结

果如表2。从表中可以看出, 四个软骨单元均与股骨髁体积存在正相关性($P<0.05$), 除股骨外侧髁软骨单元与性别存在正相关性($P<0.05$), 其余三个软骨单元与性别均无相关性($P>0.05$), 且各软骨单元与年龄均不存在相关性。通过多元线性回归分析, 四个软骨单元与性别、股骨髁体积、年龄无相关性。

3 讨 论

3.1 手动与自动分割的差异

MRI图像分割技术是图像后处理常用技术, 它以不同结构的信号差异为基础进行工作。其应用的数学模型可以分为两大类: 一类是“边缘基础型”——通过探测不同结构的信号不均一性确定边缘, 另一类是“感兴趣基础型”——通过均一的信号确定完整结构^[12]。

表1 扫描序列与参数

参数	FS-PDWI	T1WI	FS-SPGR	FS-T2WI
TR	2500ms	600ms	13.1ms	2700ms
TE	32ms	12ms	3.3ms	62ms
翻转角(度)	90°	90°	15°	90°
矩阵	320×256	320×224	288×256	320×256
视野	17cm	17cm	16cm	15cm
层厚	4.0cm	4.0cm	1.0mm	5.0cm
层间距	1.0cm	1.0cm	0mm	0.5cm
回波链	12	3	-	14
层面方向	矢状位冠状位	矢状位	矢状位	横断位

表2 软骨单元与性别、股骨髁体积及年龄一元和多元线性回归

变量		线性回归系数		P值	
		一元	多元	一元	多元
LFV	SEX	0.445	0.321	0.011	0.107
	FCV	0.465	0.435	0.007	0.049
	AGE	0.375	-0.246	0.162	0.230
MFV	SEX	0.346	0.217	0.053	0.274
	FCV	0.446	0.540	0.011	0.017
	AGE	0.063	-0.359	0.733	0.086
LTV	SEX	0.319	0.094	0.075	0.638
	FCV	0.505	0.553	0.003	0.016
	AGE	0.204	-0.168	0.263	0.417
MTV	SEX	0.217	0.104	0.232	0.615
	FCV	0.362	0.535	0.042	0.024
	AGE	-0.020	-0.386	0.912	0.079

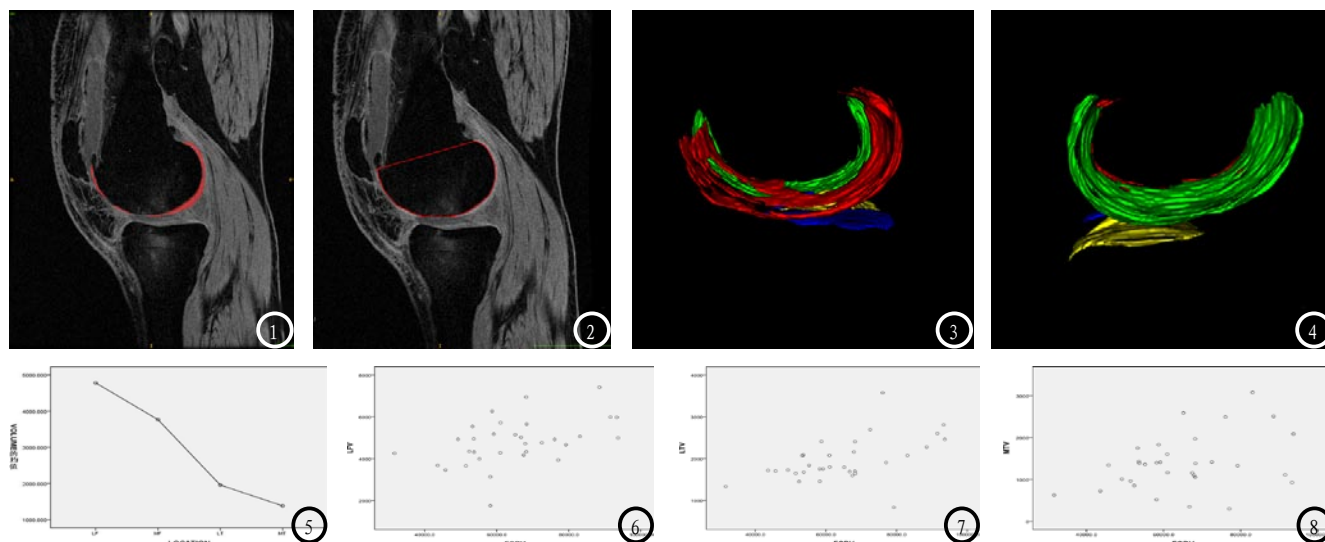


图1-2 在矢状位FSPGR图像上进行关节软骨(1)和股骨髁分割(2);图3-4 四个软骨单元的分割后3D图像,红色代表LF,绿色代表MF,蓝色代表LT,黄色代表MT;图5-8 四个软骨单元体积的均值图;图6-8分别为股骨外、内侧髁、胫骨内、外侧平台软骨单元体积与股骨髁体积散点图。LFV=股骨外侧髁软骨体积, MFV=股骨内侧髁软骨体积, LTV=胫骨外侧平台软骨体积, MTV=胫骨内侧平台软骨体积。

既往已经有很多关于软骨体积定量分析的研究,包括手动、半自动分割技术以及机器学习^[13-14],但是先前的一些研究对象多为正常或轻度退变的关节软骨,因为磁共振软骨“特异性”序列的应用,可以提高软骨与周围组织的对比度,使得软骨的分割相对容易。当处理退变严重的关节软骨时,有诊断经验的影像医师手动分割是最佳选择。因为以下几种情况,需要诊断医师进行判断:①软骨退变后,整体信号强度下降,此时与周围组织的对比不甚明显,尤其在胫骨内侧平台的内侧缘,部分研究对象中几乎相等,这时要分辨真正的内侧缘一定要在三个方向同时观察。②即便是退变相对较轻的研究对象,股骨髁中部、后部软骨与邻近滑膜组织亦分界不清,此时一定要逐层观察,通过前后几层的软骨形态来确定二者的界限。③软骨内出现纤维化、钙化,局部信号明显下降,导致软骨与软骨下骨的交界难以判定,这时依然要逐层观察,作出判断。④股骨髁边缘骨质增生严重时,其表面的信号相对较高,仅根据信号强度判断很容易误认为是关节软骨。

3.2 软骨单元与股骨髁体积、性别的关系

本研究中的各软骨单元的体积均小于先前的一些研究结果^[11,15,16],笔者认为这是由于纳入的膝关节处于骨性关节炎的晚期,此时软骨磨损严重,或者软骨局部纤维化、钙化,使得软骨信号明显减低,分割时不能当做真正的软骨来处理。同时本研究中的股骨髁体积亦小于Harada等^[9]的研究结果,这和关节软骨的剥脱位置有关。本研究的股骨髁体积的分割方法如图1所示,要确定关节软骨的前上界与后下界,我们发现很多实验对象的股骨内外髁前部软骨磨损尤为严重,而且由下至上越来越薄,这就造成软骨前上界可能偏下。尽管软骨体积偏小,但是各软骨单元与股骨髁体积仍然存在相关性,结合先前的研究结果,这提示我们无论软骨退变的严重程度如何,软骨单元与股骨髁体积依旧存在相关性。

Faber等^[17]的研究结果表明:膝关节软骨体积与性别存在显著的相关性。这与我们的研究结果不一致,主要原因在于他们的研究与先前的研究类似,依旧选择了正常的膝关节软骨作为研究对

象,而本次实验中的膝关节软骨均存在十分严重的退变,这说明在严重的膝关节退行性骨性关节炎中发生性别已经不存在差异。无论膝关节软骨退变与否,关节软骨体积与股骨髁的形态始终存在相关性。关节软骨体积在不同个体间变化较大,而股关节软骨体积与股骨髁的相关性相对稳定,这提示:在今后的研究中,可以把它作为一个很重要的参考,尤其是研究对象的人口学因素差异比较大的情况。

手动分割技术适用于严重退变的关节软骨形态学研究,并且能够获得相对准确的定量数据。

参考文献

- [1] Moradi-Lakeh, M., et al. Burden of musculoskeletal disorders in the Eastern Mediterranean Region, 1990-2013: findings from the Global Burden of Disease Study 2013 [J]. Ann Rheum Dis, 2017, 76 (8): 1365-1373.
- [2] 马岩, 陈传新, 崔强, 等. 单纯髌股关节炎的MRI诊断 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2008, 6 (2): 55-57.
- [3] 陈家祥, 宋桂芳, 马岩. 退行性膝关节关节炎软骨损伤的MRI表现 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2014, 12 (8): 105-108.

- [4] Pang, J., et al. Automatic Articular Cartilage Segmentation Based on Pattern Recognition from Knee MRI Images[J]. J Digit Imaging, 2015, 28(6): 695-703.
- [5] Kashyap, S., et al. Automated Segmentation of Knee MRI Using Hierarchical Classifiers and Just Enough Interaction Based Learning: Data from Osteoarthritis Initiative[J]. Med Image Comput Comput Assist Interv, 2016, 9901: 344-351.
- [6] Keng, A., et al. Association of body mass index with knee cartilage damage in an asymptomatic population-based study[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 517.
- [7] Ahn, C., et al. Fully automated, level set-based segmentation for knee MRIs using an adaptive force function and template: data from the osteoarthritis initiative[J]. Biomed Eng Online, 2016, 15(1): 99.
- [8] Fujinaga, Y., et al. Quantitative measurement of femoral condyle cartilage in the knee by MRI: validation study by multireaders[J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 39(4): 972-977.
- [9] Liukkonen, M. K., et al. Application of a semi-automatic cartilage segmentation method for biomechanical modeling of the knee joint[J]. Comput Methods Biomech Biomed Engin, 2017, 20(13): 1453-1463.
- [10] Frupp, J., et al. Automatic Segmentation of Articular Cartilage in Magnetic Resonance Images of the Knee[J]. MICCAI 2007, LNCS4792: 186-194.
- [11] Harada, Y., et al. Relationship between cartilage volume using MRI and Kellgren-Lawrence radiographic score in knee osteoarthritis with and without meniscal tears[J]. AJR Am J Roentgenol, 2011, 196(3): W298-304.
- [12] Wang, L., et al. Principles and methods for automatic and semi-automatic tissue segmentation in MRI data[J]. MAGMA, 2016, 29(2): 95-110.
- [13] Lazzarini, N., et al. A machine learning approach for the identification of new biomarkers for knee osteoarthritis development in overweight and obese women[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2017, 25(12): 2014-2021.
- [14] Norman, B., et al. Use of 2D U-Net Convolutional Neural Networks for Automated Cartilage and Meniscus Segmentation of Knee MR Imaging Data to Determine Relaxometry and Morphometry[J]. Radiology, 2018, 288(1): 177-185.
- [15] Duryea, J., et al. Local area cartilage segmentation: a semiautomated novel method of measuring cartilage loss in knee osteoarthritis[J]. Arthritis Care Res (Hoboken), 2014, 66(10): 1560-1565.
- [16] Duryea, J., et al. Novel fast semi-automated software to segment cartilage for knee MR acquisitions[J]. Osteoarthritis Cartilage, 2007, 15(5): 487-492.
- [17] Faber, S. C., et al. Gender differences in knee joint cartilage thickness, volume and articular surface areas: assessment with quantitative three-dimensional MR imaging [J]. Skeletal Radiol, 2001, 30(3): 144-150.

(本文编辑: 刘龙平)

【收稿日期】2018-09-21

(上接第 85 页)

- [8] 丁辉. 64排螺旋CT冠脉成像(CTA)在冠心病诊断中的应用价值分析[J]. 中国实验诊断学, 2016, 11(2): 224-226.
- [9] Rodriguez F H, Moodie D S, Neeland M, et al. Identifying arrhythmias in adults with congenital heart disease by 24-h ambulatory electrocardiography [J]. Pediatric Cardiology, 2012, 33(4): 591-595.
- [10] 王士芳. 平板运动试验和12导联动态心电图对心肌缺血性冠心病的诊断价值[J]. 现代中西医结合杂志, 2016, 25(12): 1346-1348.
- [11] 张文杰, 司岑, 杨璐. 动态心电图与超声心动图诊断冠心病无症状性心肌缺血的价值比较[J]. 现代仪器与医疗, 2011, 10(4): 24-25.
- [12] 于海波, 韩雅玲, 荆全民, 等. 多种无创检查组合在冠心病诊断中的价值[J]. 现代生物医学进展, 2014, 14(9): 1668-1670.

(本文编辑: 黎永滨)

【收稿日期】2018-09-18