

声辐射力脉冲成像技术检测健康成人髌韧带的可行性研究

王 玥 刘 俐 刘欣婷 江俊盛

摘要 目的 初步探讨声辐射力脉冲成像 (ARFI) 技术评价健康成人髌韧带的可行性。方法 由两名超声医师分别对 44 例健康成人的双侧髌韧带行二维超声和 ARFI 检查, 测量髌韧带厚度和纵、横切面近、中、远段的剪切波速度, 每一医师对同一受检者测量两次。结果 正常成人髌韧带厚度 2.89~3.10 mm, 平均(2.99±0.33)mm。ARFI 技术获得正常髌韧带剪切波速度: 同一髌韧带纵、横切面近、中、远段剪切波速度比较差异均有统计学意义($t=5.104, 4.392, 7.846$, 均 $P=0.000$), 但纵、横切面上同一髌韧带近、中、远段的剪切波速度比较差异均无统计学意义($F=1.252, 1.790, P=0.290, 0.171$)。重复性检测显示 ARFI 测量具有较高的一致性, 组内相关系数为 0.78~0.98。结论 ARFI 技术能够测量髌韧带的剪切波速度, 具有较好的一致性, 可以快速、方便地评价髌韧带弹性。

关键词 声辐射力脉冲成像; 髌韧带; 剪切波速度

[中图分类号] R684; R445.1

[文献标识码] A

Feasibility of evaluation on patellar ligaments in healthy adults by acoustic radiation force impulse imaging

WANG Yue, LIU Li, LIU Xinting, JIANG Junsheng

Department of Ultrasound, Peking University Shenzhen Hospital, Shenzhen 518036, China

ABSTRACT Objective To investigate the feasibility of acoustic radiation force impulse (ARFI) in assessing patellar ligaments in healthy adults. **Methods** Bilateral patellar ligaments of 44 healthy volunteers were enrolled in and examined by two independent sonographers using two-dimensional ultrasound and ARFI. The upper, middle, and distal part of patellar ligaments were detected in both longitudinal and transverse section. The thickness of ligaments and the shear wave velocity were measured and compared. **Results** The mean thickness of patellar ligaments in healthy volunteers was (2.99±0.33)mm (range 2.89~3.10 mm). There were significant difference of shear wave velocity among the upper, middle, and the distal part of ligaments detected in both longitudinal and transverse section ($t=5.104, 4.392, 7.846$, all $P=0.000$). However, no significant difference of shear wave velocity for each part measured between two sections were found ($F=1.252, 1.790, P=0.290, 0.171$). Repeatability testing showed that ARFI measurements were of high consistency and accuracy. The correlation coefficient was 0.78~0.98. **Conclusion** ARFI is able to detect shear wave velocity of patellar ligaments with good consistency, and it is potentially helpful to evaluate the elasticity of patellar ligaments.

KEY WORDS Acoustic radiation force impulse; Patellar Ligament; Shear wave velocity

髌韧带是从事频繁跳跃运动类型的运动员最易损伤的部位, 关注髌韧带的健康在运动医学领域日渐成为研究重点。在传统超声检查中, 髌韧带低氧、脂肪变性等某些慢性病理改变所引起的微小病变与周围健康组织的回声相同, 传统超声检查难以区分这类病变^[1]。但这些慢性病理改变可引起髌韧带硬度的变化, 因此

寻找一种敏感的成像技术准确测量髌韧带硬度的变化具有重要临床意义。目前髌韧带的主要影像学检查手段有 MRI 和超声检查^[2-3], 其在运动医学、骨科及风湿病学临床上有着相当重要的意义。声辐射力脉冲成像 (acoustic radiation force impulse, ARFI) 技术通过测量剪切波速度定量评价组织的硬度^[4], 剪切波速度可反映

组织内在的固有特性,具有可重复性。ARFI 提供了常规超声检查无法测得的组织硬度的相关信息,是对传统超声成像技术手段的必要补充。目前 ARFI 在评价腹部疾病特别是肝脏纤维化中已取得有临床意义的结果^[4-5],但尚未见应用于评价髌韧带弹性方面的报道。本前瞻性研究旨在探讨 ARFI 评价正常髌韧带弹性的可行性。

资料与方法

一、研究对象

选取 2011 年 4~7 月我院纳入的 44 例健康成人志愿者,男 12 例,女 32 例,年龄 20~60 岁,平均(39.9±12.6)岁;其中 20~30 岁 12 例,31~40 岁 6 例,41~50 岁 15 例,51 岁以上 11 例;所有志愿者均知情同意。纳入标准:平时偶尔运动,无膝关节疼痛病史,无可影响髌韧带弹性的系统性炎性病变,如风湿性关节炎、脊柱关节病变及血脂胆固醇高等。

二、仪器与方法

使用西门子 Acuson S 2000 彩色多普勒超声诊断仪,9L4 线阵探头,频率 4~9 MHz。采用直接法对称扫查两侧髌韧带,注意保持声束与髌韧带成直角,尽量避免对髌韧带过度施压,以减少人为伪像。检查时患者取仰卧位,膝关节半屈,避免髌韧带过分紧张或松弛。首先行二维超声检查,观察髌韧带起止点、边缘及内部纤维结构回声,观察是否有局限性低回声及钙化斑,并于中段水平横切面测量髌韧带厚度(前后径)。然后应用 ARFI 技术进行纵切面和横切面扫查,分别测量髌韧带的近、中、远段剪切波速度,将取样框下缘置于髌韧带下缘水平,使其高度超出髌韧带部分完全置于皮下软组织中,以减少因取样框高度大于髌韧带厚度带来的测量误差。近段指髌韧带髌骨附着处的 1/3,远段指胫骨粗隆附着处的 1/3,中段即前两者之间的中间 1/3。由两位超声医师在 2 h 内完成所有检查,每一医师对同一受检者测量两次剪切波速度。

三、统计学处理

应用 SPSS 16.0 统计软件,计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,行配对 *t* 检验和单因素方差分析;同一医师测量剪切波速度的一致性和不同医师间的可重复性采用组内相关系数和组间相关系数表示,>0.75 表示一致性和重复性良好。*P*<0.05 为差异有统计学意义。

结 果

一、超声表现

二维超声检出正常髌韧带 84 条(42 例),正常成人髌韧带厚度 2.89~3.10 mm,平均(2.99±0.33)mm。正常髌韧带表现为纵切面边界清楚,内部回声分布均匀,由平行的高回声线构成的束状结构,其外缘包裹着薄而致密的结缔组织即腱膜,呈纤细、均匀的低回声;横切面髌韧带呈扁圆形均质点状回声,边界清楚(图 1)。另 4 条(2 例)髌韧带内分别出现局限性低回声和强回声斑。

二、ARFI 检查结果

4 条病变髌韧带未行 ARFI 检查。ARFI 检查获得正常髌韧带剪切波速度(图 2,3):纵切面近段(3.24±0.64)m/s,中段(3.45±0.72)m/s,远段(3.27±0.56)m/s;横切面近段(2.85±0.78)m/s,中段(2.88±0.60)m/s,远段(2.64±0.42)m/s;同一髌韧带纵、横切面近、中、远段剪切波速度比较差异均有统计学意义(*t*=5.104、4.392、7.846,均 *P*=0.000),但纵、横切面上同一髌韧带近、中、远段的剪切波速度比较差异均无统计学意义(*F*=1.252、1.790,*P*=0.290、0.171)。不同性别和年龄髌韧带剪切波速度比较差异均无统计学意义。见表 1,2。

三、重复性检测

第 1 名医师应用 ARFI 分两次测量了 42 例(84 条)髌韧带剪切波速度,第 2 名医师应用 ARFI 分两次测量了 42 例中 37 例(74 条)髌韧带剪切波速度。组内相关系数为 0.78~0.98;组间相关系数为 0.18~0.41,其中远段的组间相关系数最低,与近、中段比较差异均有统

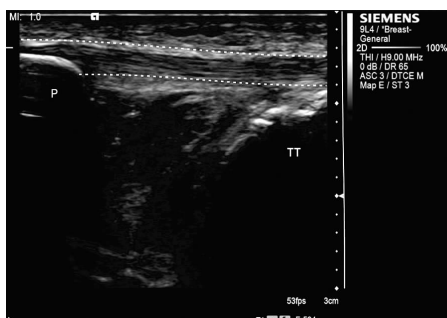


图 1 正常髌韧带的二维超声图像(P:髌骨;TT:胫骨粗隆)

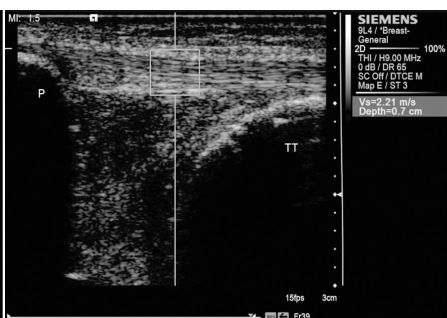


图 2 髌韧带纵切面中段剪切波速度测量图(P:髌骨;TT:胫骨粗隆)



图 3 髌韧带横切面中段剪切波速度测量图

表 1 不同性别纵切面和横切面近、中、远段剪切波速度比较($\bar{x}\pm s$)

性别	纵切面			横切面			m/s
	近段	中段	远段	近段	中段	远段	
	男(10)	3.26±0.31	3.33±0.49	3.28±0.73	2.88±0.90	2.88±0.67	
女(32)	3.25±0.75	3.51±0.80	3.30±0.50	2.78±0.40	2.88±0.43	2.63±0.37	
t 值	0.001	0.541	0.662	0.147	0.724	0.057	
P 值	0.980	0.466	0.421	0.702	0.400	0.812	

表 2 不同年龄纵切面和横切面近、中、远段剪切波速度比较($\bar{x}\pm s$)

年龄(岁)	纵切面			横切面			m/s
	近段	中段	远段	近段	中段	远段	
	20~30(12)	3.18±0.58	3.38±0.75	3.01±0.36	2.84±0.29	2.70±0.27	
31~40(6)	3.76±0.38	3.46±0.74	3.52±0.85	2.28±0.42	3.33±1.27	2.66±0.35	
41~50(14)	3.02±0.65	3.38±0.76	3.46±0.65	3.22±1.17	3.07±0.69	2.89±0.56	
>51(10)	3.39±0.71	3.62±0.69	3.31±0.51	2.64±0.57	2.72±0.32	2.50±0.28	
F 值	1.673	0.275	1.832	2.121	2.012	2.525	
P 值	0.189	0.843	0.158	0.114	0.129	0.072	

计学意义(均 $P < 0.05$), 上述组内和组间相关系数在纵、横切面上比较差异无统计学意义。见表 3~5。

表 3 纵切面和横切面近段剪切波速度的重复性测量($\bar{x}\pm s$)

不同检查者	纵切面		横切面		m/s
	M1	M2	M1	M2	
	检查者 1	3.24±0.64	3.21±0.66	2.85±0.78	
检查者 2	3.12±0.63	3.20±0.69	2.87±0.64	2.97±0.76	

M1: 第 1 次检查; M2: 第 2 次检查。

表 4 纵切面和横切面中段剪切波速度的重复性测量($\bar{x}\pm s$)

不同检查者	纵切面		横切面		m/s
	M1	M2	M1	M2	
	检查者 1	3.45±0.72	3.52±0.77	2.88±0.60	
检查者 2	3.42±0.88	3.40±0.85	2.93±0.62	2.90±0.61	

M1: 第 1 次检查; M2: 第 2 次检查。

表 5 纵切面和横切面远段剪切波速度的重复性测量($\bar{x}\pm s$)

不同检查者	纵切面		横切面		m/s
	M1	M2	M1	M2	
	检查者 1	3.28±0.57	3.28±0.56	2.64±0.42	
检查者 2	3.29±0.81	3.26±0.95	2.99±0.53	3.01±0.51	

M1: 第 1 次检查; M2: 第 2 次检查。

讨 论

髌韧带自髌骨向下止于胫骨粗隆, 对协助关节活动和维持关节稳定性均有重要作用。髌韧带的急、慢性损伤在运动医学和骨科临床上非常常见^[6], 临床检查在定位和定性上存在一定的难度^[7], 髌韧带的影像学检查在运动医学、骨科及风湿病学临床上均有相当重要的意义。传统超声根据髌韧带内部回声诊断其肿胀、断裂等^[8], 但不能判断髌韧带硬度的改变。生物组织的弹性对于疾病的诊断具有重要的参考价值^[9], ARFI 是一种定量评价组织弹性(硬度)的技术, 其原理是以声脉冲辐射力技术为基础产生剪切波, 并以测量剪切波速度来分析的组织硬度, 剪切波速度越快, 组织越硬^[10]。已有学者^[11]将 ARFI 应用于跟腱弹性测量, 证明 ARFI 是检查跟腱弹性特征的有利的、无创的方法, 但目前尚无应用 ARFI 技术检查髌韧带的研究。

本研究应用 ARFI 技术测量正常成人髌韧带的剪切波速度, 结果表明, 近、中、远段髌韧带的剪切波速度比较差异无统计学意义, 因此临床应用时, 可用任一段的剪切波速度表达髌韧带的弹性。本研究中, 不同性别和年龄髌韧带的剪切波速度比较差异均无统计学意义。但生物学研究^[12]表明, 正常韧带、腱性组织的粘弹性特征是有个体差异的, 随着年龄、性别及运动水平的不同而不同。本研究结果与上述研究不同, 分析原因一方面可能由于样本量不够大, 可能导致无法做出统计

学差异;另一方面可能是 ARFI 技术本身无法分辨出较细微的弹性特征,在今后的研究中可加大样本量来进一步分析。

本研究中,髌韧带中、远段纵切面的剪切波速度高于横切面的剪切波速度,差异均有统计学意义(均 $P < 0.05$)。髌韧带的弹性是影响髌韧带对张力耐受的重要参数,在髌韧带中心部分张力分布不一致,这种不一致性代表了正常髌韧带内部不同组织的不同力学特性。本研究认为纵切面扫查时,探头发射剪切脉冲波,在波束的发射方向即髌韧带的前后径方向压缩组织,产生的横向振动在髌韧带的上下径方向,即纤维束的长轴方向传播;而横切面扫查时,探头发射剪切脉冲波,在波束的发射方向即髌韧带的前后径向压缩组织,产生的横向振动在髌韧带的左右径方向,即纤维束的短轴方向传播。髌韧带的上下径方向为单一介质,即纤维束;而短轴方向为非单一介质,包含纤维束及髓膜。本研究认为两个切面的剪切波速度之所以不同,可能的原因是:①剪切波在髓膜中传播的速度与在纤维束中的速度不同;②剪切波在纤维束的纵向与横向上传播速度不同,即纤维束的纵向弹性与横向弹性不同。今后可进一步研究纤维束的纵、横向弹性,以及纤维束与髓膜的弹性不同。

在剪切波速度测量的一致性与重复性方面,同一医师自身测量的一致性很高(组内相关系数 > 0.75),不同医师间近段、中段测量的重复性一般(组间相关系数为 $0.30 \sim 0.40$),远段测量的重复性差(组间相关系数 < 0.20)。分析原因可能是远段髌韧带后方大部分为骨性结构即胫骨上端,使剪切波速度测量误差较大。

由于使用 ARFI 测量剪切波速度时,取样框的大小不能调节,当髌韧带厚度小于取样框高度时,采用了将取样框下缘放置在髌韧带下缘水平,使取样框高度超出髌韧带部分完全置于皮下软组织中。正常成人皮下软组织的弹性差异较小,因此这种方法最大程度地减少了因取样框与髌韧带厚度不匹配产生的测量误差。

综上所述,ARFI 能够测量髌韧带的剪切波速度,

并具有较好的一致性,可以快速、方便地评价髌韧带弹性,可作为传统超声的辅助工具,提高诊断准确性。本研究推荐 ARFI 检测髌韧带弹性时采用纵切面扫查髌韧带中段作为标准切面。

参考文献

- [1] Sporea I, Bota S, Peck-Radosavljevic M, et al. Acoustic radiation force impulse elastography for fibrosis evaluation in patients with chronic hepatitis C: an international multicenter study [J]. *Eur J Radiol*, 2012, 81(12): 4112-4118.
- [2] Toprak U, Ustuner E, Uyank S, et al. Comparison of ultrasonographic patellar tendon evaluation methods in elite junior female volleyball players: thickness versus cross-sectional area [J]. *Diagn Interv Radiol*, 2012, 18(2): 200-207.
- [3] Michael JB, Kathleen AD. Measurement of in vivo tendon function [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2012, 21(2): 149-157.
- [4] 丁红, 沈文, 李娜, 等. 声脉冲辐射力成像技术无创检测慢性肝纤维化的初步研究 [J]. *上海医学影像*, 2009, 18(2): 81-83.
- [5] Friedrich RM, Ong MF, Herrmann E, et al. Real-time elastography for noninvasive assessment of liver fibrosis in chronic viral hepatitis [J]. *Am J Roentgenol*, 2007, 188(3): 758-764.
- [6] Cook JL, Khan KM, Harcourt PR, et al. A cross sectional study of 100 athletes with jumper's knee managed conservatively and surgically [J]. *Br J Sports Med*, 1997, 31(4): 332-336.
- [7] Kartus J, Rostgrd CL, Movin T, et al. Evaluation of harvested and normal patellar tendons: a reliability analyses of magnetic resonance imaging and ultrasonography [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2000, 8(5): 275-280.
- [8] Klauser AS, Faschingbauer R, Jäschke WR. Is sonoelastography of value in assessing tendons? [J]. *Semin Musculoskelet Radiol*, 2010, 14(3): 323-333.
- [9] 俞清, 王文平, 季正标, 等. 实时超声弹性成像评估物体硬度的实验研究 [J]. *中华超声影像学杂志*, 2007, 16(11): 997-999.
- [10] Nightingale K, Soo M, Nightingale R, et al. Acoustic radiation force impulse imaging: in vivo demonstration of clinical feasibility [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2002, 28(2): 227-235.
- [11] 李文雪, 朱家安, 刘芳, 等. 声脉冲辐射力成像对正常跟腱弹性特征的评估 [J]. *中国超声医学杂志*, 2015, 31(8): 742-744.
- [12] Drakonaki EE, Allen GM, Wilson DJ. Real-time ultrasound elastography of the normal Achilles tendon: reproducibility and pattern description [J]. *Clin Radiol*, 2009, 64(12): 1196-1202.

(收稿日期: 2017-02-18)

免收稿件处理费的通知

为方便作者投稿,经编委会讨论通过,本刊免收文章稿件处理费。

本刊编辑部