

一种运用定量超声技术进行肌力评定的新方法

李金峰¹ 张巧云¹ 张元鸣飞¹ 蒋洁² 周谋望¹¹北京大学第三医院康复医学科,北京 100191; ²北京大学第三医院超声科,北京 100191

通信作者:周谋望,Email:zhoumouwang@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2020.09.018

肌力评定作为一种衡量肢体运动功能的评估方法被广泛应用于神经系统疾病和肌肉骨骼疾病的临床诊治和康复医疗中,而目前临床常用的几种肌力评定方法都存在一些不足,如解剖定位不精准、临床运用局限、性价比低、难以精确量化等。因此,探索一种高效、经济、可量化的肌力评定新方法迫在眉睫。

超声成像是一种目前广泛应用于临床实际工作当中的,简便经济的检查方法。将超声成像技术与肌肉的功能状态相联系的研究可以追溯到上个世纪末^[1]。定量超声可以在二维超声图像中通过分析肌肉横断面积、横断面厚宽比、肌纤维长和羽状角等数值和比值参数判断肌肉目前的形态结构和功能状态。近年来,超声成像技术与康复医学的结合越来越紧密。肌骨超声诊断^[2-3]、超声引导下的肌肉注射^[4-5]和冲击波治疗^[6]等方面的临床研究大量出现。除上述应用以外,已有研究证实,肌肉厚度^[7-8]、平均回声强度^[9-10]等参数与肌力呈显著相关性,但相关研究多为单一超声参数的孤立作用,缺乏大样本、多参数的综合评价。

能量多普勒超声是现代超声成像技术的重要分支,目前尚未有阐明肌力与能量超声参数之间关系的研究报道。但有学者^[11]研究发现,肌肉收缩会促进腺苷等物质的合成,这些物质作用于血管的平滑肌,扩张了血管的直径,引起肌肉充血,而未收缩的肌肉则不会产生此现象;另外,一项 2016 年的报道证实^[12],能量多普勒超声可以敏感地捕捉肌肉收缩后产生的肌内红细胞变化。上述相关研究为本方法的实施提供了理论基础。本文主要介绍一种运用定量超声技术进行临床肌力评定的新方法,介绍实验的基本流程和操作办法以及一些关键参数提取和处理的手段,以期临床肌力评定提供新思路,拓宽超声成像的应用范围。

一、资料与方法

(一)研究对象

健康受试者入选标准:①无下肢肢体肌肉麻木、痉挛、萎缩、活动不利、关节肿痛或明显畸形主诉;②无骨骼肌肉系统、神经系统、外周血管疾病病史;③无下肢严重外伤史;④关节活动度、肌张力满足肌力评定方法;⑤年龄 18~55 岁,

性别不限。

废用性肌萎缩患者入选标准:①手术后长期(>3 个月)制动所导致的股四头肌萎缩;②徒手肌力检查伸膝肌力在 4 级及以下;③双侧肢体维度差异以髌骨上极以上 10 cm 为测量点,周径相差超过 2 cm 以上为判定标准;④无下肢肢体肌肉麻木、痉挛、关节肿痛或明显畸形主诉;⑤关节活动度、肌张力满足肌力评定方法;⑥无重度骨质疏松;⑦未处于炎症急性期或骨折急性修复期;⑧年龄 18~55 岁,性别不限。

排除标准:①患有心、肺、肝、肾等严重疾病;②美国纽约心脏病协会(New York Heart Association, NYHA)心功能分级>I 级,有呼吸衰竭等症体征或临床心肺功能障碍检查结果;③肿瘤病史;④重度骨质疏松;⑤处于炎症急性期或骨折急性修复期;⑥怀孕。

本研究共招募 80 例志愿者(男 45 例,女 35 例),其中健康受试者 54 例设为健康组,下肢股四头废用性肌萎缩患者 26 例(含双侧萎缩 2 例)设为病例组,2 组受试的基本临床资料详见表 1。所有受试者均签署知情同意书,每例志愿者左右两侧下肢分别进行数据测量采集,故样本总量为 160。样本量的选取依据主要由回归方程模型各参数的系数显著性决定,且在实验中纳入因膝关节术后长期制动或退行性病变所导致肌力缺失的患者,旨在使该模型不仅仅局限于健康人超声图像参数,进而提高模型的临床适应性。本研究已获北京大学第三医院伦理委员会审查(医伦审第 282-02 号)。

(二)研究数据的测量

1. 测试肌群的选择:①已有研究^[13]表明,股内侧肌的肌肉厚度与肌力呈显著相关性,且与年龄无关,且该研究运用多元回归分析显示股内侧肌与伸膝肌力有着最好的相关性,并提出股内侧肌的厚度可能是一个可靠的床旁肌力评估方法;②股内侧肌体表定位明确,位置表浅,便于超声探及,同时临床实际工作中,该肌肉为最先萎缩且萎缩容积最明显的肌肉^[14];③膝关节等速力量测定技术和运动测试方案较为成熟,临床实际运用经验丰富,测定结果的可信度高。综上理由,本研究采用股内侧肌为测试的目标肌肉。

表 1 2 组受试的基本临床资料

| 组别 | 例数 | 性别(例) | | 平均年龄 (岁, $\bar{x} \pm s$) | 疾病类型(例) | | |
|-----|----|-------|----|-------------------------------|---------------------|-----------------|--------------|
| | | 男 | 女 | | 半月板和/或膝关节 周围韧带损伤 | 骨折(胫骨 平台、髌骨) | 膝关节骨性 关节炎 |
| 病例组 | 26 | 13 | 13 | 34.96±9.31 | 17 | 6 | 3 |
| 健康组 | 54 | 32 | 22 | 28.26±6.82 | 无 | 无 | 无 |

2.主要测量指标:受试者的一般情况(年龄、性别、身高、体重、利手、手术史、伤病史)、超声成像数据(二维图像、测量肌肉厚度和平均回声强度、能量多普勒图像)、测力计数据(峰力矩、峰力矩角度、总功、力矩体重比、拮抗肌比等)。

3.伸膝峰力矩测量:使用 System 4 美国 Biodex 多关节等速训练测试系统进行伸膝峰力矩的测定。等速肌肉收缩兼有等张收缩和等长收缩的特点,是一种保持关节以恒定角速度运动的特殊的肌肉收缩形式。伸膝峰力矩是股四头肌肌力国际较为公认的代表形式,本研究采用 60(°)/s 的角速度下伸膝峰力矩作为标准评定。采集完安静状态下的超声图像后,指导受试者在所需测试的角速度下进行 3~5 个适应性动作练习,再进行正式测试,保证试验测定力矩值的稳定。

等速肌力测试中设定测试的运动速度(又称角速度)。本次测试进行慢、中、快速三种速度的测试,角速度分别为 60(°)/s、180(°)/s 和 300(°)/s。其中慢速测试主要用于测试最大肌力,为股四头肌肌力较为权威的测试方式。慢速测试的重复次数为 5 次,主要用于判断最大肌力和分析力矩曲线的形态,最高峰值力矩一般出现在前 3 次。中速测试的重复次数为 10 次,快速测试的重复次数为 20 次。单侧膝关节的测试时间总计约为 120 s。

4.测试过程中的注意事项:①测试的次序——对健康受试者先测优势侧肢体,优势侧肢体判断依照单脚跳的距离,跳跃距离较远的下肢定义为优势侧;患者优先测试健侧,对于双侧受累的骨关节患者,试验中依照症状轻重判断,症状较轻一侧定为“相对”健侧,这样既可在优势(健)侧肢体获得基本参考数据,又可使受试者了解测试的步骤、方法,减少不必要的失误;②测试体位和关节运动轴心——股四头肌等速肌力测试中,患者取上身竖直坐位,调整座椅靠背位置使腘窝据座椅一拳距离,髌关节紧贴椅背,调整座椅高度和位置、仪器位置使仪器动力轴位于膝关节外侧关节间隙中点,且大腿无明显的内收或外展;调整动力臂长度,使固定束带在足踝上方并紧贴足踝。双手紧握两侧扶手;③固定——测试时良好的固定将被测肌群充分独立,使来自协同肌的影响最小,也避免了代偿运动;本研究中对受试者双肩、腰部、膝关节上方和足踝都进行了较为紧张的固定;④肢体称重——该测试在垂直面上运动的膝关节上进行,因此应考虑重力的影响;重力不仅在一定程度上影响所测力矩值及拮抗肌比值,还会影响交互收缩形式;测试前指导受试者在放松情况下进行肢体称重。

(三)定量超声数据采集

1.设备及人员:采用声科声蓝系列法国彩色超声诊断仪,探头选用 L15-4 线阵探头。仪器设置在整个实验过程中保持一致,包括二维增益、检查深度、彩色增益、速度标尺、能量多普勒增益等,多普勒取样窗应包含整个成像视野。为超声影像科医师的技术和习惯对结果的影响,本实验所有超声图像采集均由同一位超声影像科医师完成,测试环境为室内,室温 23~26 ℃。

2.图像采集及留存:因测量肌肉为股四头肌内侧头,且需获取能量多普勒超声图像,若裤腿较紧则可能导致静脉回流不畅,能量多普勒超声结果受到影响,故受试者需着膝以上短裤。受试者在测试之前半小时内未进行剧烈运动,静息状态时分别留取受试者肌肉二维图像,用于测量肌肉厚度和平均回声强度;能量多普勒图像,用于测量肌肉充血程度。测量时取伸膝 0°位,由超声影像科医师凭经验目测股四头肌内侧头最膨隆处,探头角度垂直于肌束走行,肌肉放松状态进行测量。测量完成后进行大腿处束缚,进行运动方案。在最后一组测试完成时立即松开大腿处束缚,再次于同一处测量肌肉二维图像和能量多普勒图像,间隔不超过 3 s。

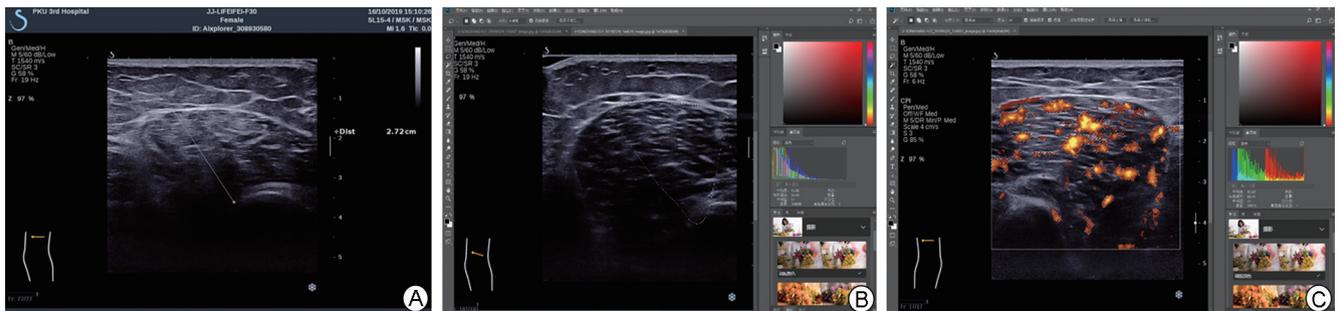
3.定量超声数据处理:由于目前临床应用的绝大部分超声诊断设备自带的超声图文处理系统仅能对图像进行增强、测距或加注符号等,并不能准确识别确定区域内的图像灰度信息或像素区间信息,因此在超声图像采集完成后,将超声图像通过图像输出接口传入外接计算机设备进行部分处理。超声图像的处理工作均由同一人完成。

股内侧肌厚度:由超声影像科医师通过系统自带的测距功能手动测定,股内侧肌厚度为 2.72 cm,如图 1A 所示。

肌肉平均回声强度:使用 Adobe Photoshop CC 2018 软件,通过套索工具手动选取股内侧肌扇形区域,由直方图界面读取勾选区域的平均值,表示为灰阶即图像在最亮和最暗之间的变化情况,平均值为 41.88,如图 1B 所示。

能量多普勒超声信号:使用 Adobe Photoshop CC 2018 版软件,通过魔棒工具勾选能量超声信号区域,忽略外界声噪干扰出现的伪影,由直方图界面读取勾选区域的像素值,像素值为 49013,如图 1C 所示。

因受图像放大倍数 Z 和信号强度增益值 G 不同的影响(如图 1C 所示,Z 值为 97%,G 值为 85%),股四头肌内侧头肌肉运动前后能量多普勒超声信号区域需进行校正,按公式(1)计算后得到校正能量超声强度(计量单位为像素)。



注:图 A 示股内侧肌厚度测量超声图像;图 B 示股内侧肌平均回声强度图像处理;图 C 示能量多普勒超声图像处理

图 1 定量超声数据处理图

$$\text{校正能量超声强度} = \frac{\text{运动前红细胞信号区域(像素)}}{\text{图像放大倍数} \times Z(\%)} - \frac{\text{运动后红细胞信号区域(像素)}}{\text{信号强度增益值} \times G(\%)} \quad (1)$$

研究正式开始前,嘱受试者不要进行剧烈运动,首先测试患者静息状态下的各超声参数值,再进行膝关节等速伸膝肌力测试,最后采集运动后各超声参数值。本研究的具体流程如图 2 所示。

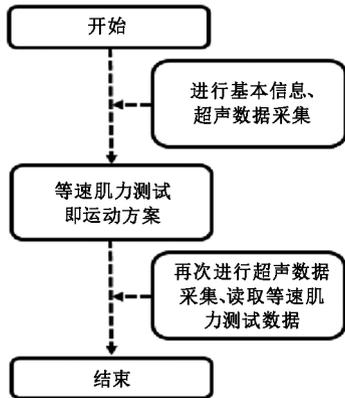


图 2 本研究的技术路线

(三) 统计学方法

使用 SPSS 24.0 版统计软件对所得数据进行统计学分析处理,行多元线性回归分析,其中因变量 Y 为伸膝峰力矩(Nm),为连续变量,符合正态分布;自变量 X₁ 为肌肉厚度(cm),X₂ 为肌肉平均回声强度(灰阶),X₃ 为校正能量超声强度(像素)。P<0.05 认为差异有统计学意义。

二、结果

由系数表(图 3)构建出 Y 与 X 的回归方程如下:

$$Y = 54.327X_1 - 1.610X_2 + 0.003X_3 - 36.081$$

该模型 R 值为 0.708>0.4,调整后为 R² 值为 0.492>0.1,说明拟该模型拟合度理想,拟合优度较高,不被解释的变量较少,各自变量显著性均小于 0.01,说明三者均与因变量显著线性相关,这一结果与本研究预期设想相符,且首次证实了能量超声参数与肌肉力量有线性相关性。

如图 4 所示,原始数据与正态分布不存在显著差异,残差满足线性模型前提要求。

三、讨论

废用性肌肉萎缩是一种临床常见的并发症,多见于骨骼肌肉系统损伤长期制动或慢性疼痛引起的运动量减少等,临床上

多通过徒手肌力检查或肢体维度测量对其进行诊断。但徒手肌力检查较为粗糙且依赖于检查者的经验,肢体维度测量则误差较大,因而,本研究所采用的超声肌力评估方法可以为临床工作提供一个较为可靠的定量评估工具。

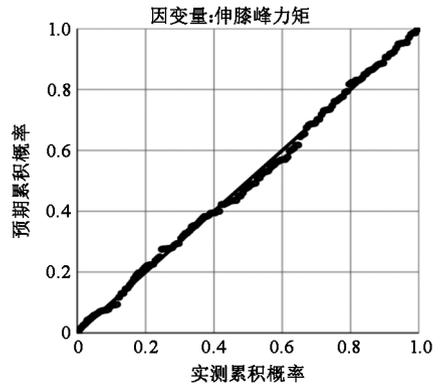


图 4 多元线性回归标准化残差的正态 P-P 图

基于目前肌力评定方法的局限和定量超声技术的优越性,本研究运用定量超声技术,通过对肌肉厚度、平均回声强度及能量多普勒超声相关参数的测量,对 80 例中青年受试者的肌肉数量、质量和募集程度进行描述,并与现有的肌力评定方法——等速肌力测试相对比,运用多元线性回归方法成功建立肌力-定量超声参数函数模型,经过统计检验,该模型具有良好的拟合程度,能真实反应各参数见的关系。

但本方法距离应用于临床尚有一段距离。本研究仅纳入了健康受试者和少量废用性肌萎缩的患者,下一步研究可以纳入更多病种的肌力异常患者,增加该函数模型的适用性,提高该方法的临床应用价值。此外,超声诊断设备自身的机械参数以及耦合剂种类均对超声图像的质量有不同程度影响,进而影响本研究的准确性。针对这一情况,本研究全程采用同一超声诊断设备和同一品牌耦合剂进行测试,保证了输出图像的像素均为 1440×1080。而一些图像处理工具(如 Photoshop 等)均可以调整不同图片的像素值,保证了该方法可以应用于不同超声设备和测试环境;且实际的操作中,使用人工手动标定和测量超声图像参数费时费力且精度不高,后续本研究拟引入人工智能算法对超声图像参数进行处理。目前,人工智能技术在康复评定邻域的应用研究还较少,但国内已有相关研究运用卷积神经网络(convolutional neural network)算法对医学图像进行处理并已经取得了令人满意的效果^[15]。因此,有理由相信,未来将超声成像技术与计算机深度学习相结合,可以进一步提高本方法在临床实际应用中的效率。

| 模型 | 未标准化系数 | | 标准化系数 | t | 显著性 | B 的 95.0% 置信区间 | | 零阶 | 相关性 | | 共线性统计 | |
|-------------|---------|--------|-------|--------|------|----------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | B | 标准错误 | Beta | | | 下限 | 上限 | | 偏 | 部分 | 容差 | VIF |
| 1 (常量) | -36.081 | 22.850 | | -1.579 | .116 | -81.217 | 9.055 | | | | | |
| x1 肌肉厚度 | 54.327 | 5.572 | .559 | 9.750 | .000 | 43.321 | 65.333 | .549 | .615 | .551 | .972 | 1.029 |
| x2 肌肉平均回声强度 | -1.610 | .242 | -.378 | -6.642 | .000 | -2.089 | -1.131 | -.335 | -.470 | -.376 | .985 | 1.015 |
| x3 校正能量超声 | .003 | .001 | .217 | 3.792 | .000 | .001 | .004 | .311 | .291 | .214 | .978 | 1.022 |

a. 因变量: 伸膝峰力矩

图 3 多元线性回归模型

参 考 文 献

- [1] Maganaris CN, Baltzopoulos V, Sargeant AJ. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man; implications for muscle function[J]. *J Physiol*, 1998, 512 (Pt2): 603-614. DOI: 10.1111/j.1469-7793.1998.603be.x.
- [2] 刘冰霜,张永东.肌骨超声在肢体疼痛患者诊断中的应用价值[J]. *临床医学研究与实践*, 2017, 25 (2): 141-142. DOI: 10.19347/j.cnki.2096-1413.201725069
- [3] 汤晓艳,吴伟涛,王琰,等.肌骨超声在创伤性浅表软组织损伤中的应用[J]. *海南医学*, 2017, 28 (21): 3510-3513. DOI: 10.3969/j.issn.1003-6350.2017.21.023.
- [4] 刘蕊. 超声引导穿刺注射肉毒素在治疗儿童肌肉痉挛中的应用分析[J]. *药品评价*, 2017, 14 (10): 56-59. DOI: 10.3969/j.issn.1672-2809.2017.10.012.
- [5] 李海清,赵英波,李嘉伟,等.超声引导穿刺注射肉毒素治疗下肢屈肌痉挛[J]. *足踝外科电子杂志*, 2016, 3 (4): 27-29. DOI: 10.3969/j.issn.2095-7793.2016.04.006.
- [6] 李培,张亮.肌骨超声引导下应用冲击波联合 PRP 治疗骨不连初步探索[J]. *医学与哲学*, 2018, 39 (9): 18-20. DOI: 10.12014/j.issn.1002-0772.2018.09b.00.
- [7] Abe T, Thiebaud RS, Loenneke JP, et al. Association between forearm muscle thickness and age-related loss of skeletal muscle mass, hand-grip and knee extension strength and walking performance in old men and women: a pilot study[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2014, 40 (9): 2069-2075. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2014.05.003.
- [8] Guo JY, Zheng YP, Huang QH, et al. Performances of one-dimensional sonomyography and surface electromyography in tracking guided patterns of wrist extension[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2009, 35 (6): 894-902. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2008.11.017.
- [9] Zhao H, Zhang LQ. Automatic tracking of muscle fascicles in ultrasound images using localized Radon transform[J]. *IEEE Trans Biomed Eng*, 2011, 58 (7): 2094-2101. DOI: 10.1109/TBME.2011.2144593.
- [10] Zhou Y, Zheng YP. Estimation of muscle fiber orientation in ultrasound images using revoting hough transform (RVHT)[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2008, 34 (9): 1474-1481. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2008.02.009.
- [11] Li H, Zhao G, Zhou Y, et al. Relationship of EMG/SMG features and muscle strength level: an exploratory study on tibialis anterior muscles during plantar-flexion among hemiplegia patients[J]. *Biomed Eng Online*, 2014, 13:5. DOI: 10.1186/1475-925X-13-5.
- [12] Ruiz-Munoz M, Cuesta-Vargas AI. Electromyography and sonomyography analysis of the tibialis anterior: a cross sectional study[J]. *J Foot Ankle Res*, 2014, 7 (1): 11. DOI: 10.1186/1757-1146-7-11.
- [13] Strasser EM, Draskovits T, Praszak M, et al. Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly[J]. *Age*, 2013, 35 (6): 2377-2388. DOI: 10.1007/s11357-013-9517-z.
- [14] Fox TA. Dysplasia of the quadriceps mechanism: hypoplasia of the vastus medialis muscle as related to the hypermobile patella syndrome [J]. *Surg Clin North Am*, 1975, 55 (1): 199-226. DOI: 10.1016/s0039-6109(16)40542-6.
- [15] 王凯. 基于皮肤镜图像的黑色素瘤形态模式识别研究[D]. 电子科技大学, 2017:55-61.

(修回日期:2020-08-12)

(本文编辑:汪玲)

· 外刊撷英 ·

Rehabilitation therapy for A COVID-19 patient who received mechanical ventilation in japan: a case report

ABSTRACT A 65-year-old man visited a primary care hospital with a continued fever of 38°C for 3 days. As his fever did not improve until 8 days after, he was admitted into another acute care hospital, where his respiratory condition rapidly worsened. Therefore, the patient was transferred to our hospital. On the day of transfer (day 1) he was started on mechanical ventilation. COVID-19 was diagnosed using a polymerase chain reaction assay 6 days after admission (day 6). The rehabilitation therapy was begun on day 6. The initial rehabilitation programs focused on positioning and postural drainage. The patient was extubated on day 19 and he began standing and stepping on the same day. Gait exercises began on day 22, and endurance training was initiated on day 28. The patient was discharged from our hospital on day 34 as he met the physical function milestones. One month after discharge, the Medical Research Council sum score and Barthel Index had each improved; therefore, muscle strength and daily activities had returned to normal. It was assumed that mobilization should be performed as soon as possible after the end of sedation during the acute phase of severe COVID-19 infection in patients receiving mechanical ventilation.

【摘自:Saeki T, Ogawa F, Chiba R, et al. Rehabilitation therapy for A COVID-19 patient who received mechanical ventilation in japan: a case report. *Am J Phys Med Rehabil*, 2020 Jul 22 DOI: 10.1097/PHM.0000000000001545.】