超声技术在骨骼肌病变中的应用及进展

徐茂晟 郑超 董雁雁 陈秀 王诗佳 孙谢璐 邹春鹏

摘要 近年来,超声技术在骨骼肌中的应用得到了临床工作者越来越多的关注。超声因其实时、动态、无创、简便的特点,在骨骼肌系统中具有独特的临床应用价值。传统的二维超声可以从肌肉厚度、回声强度、羽状角、肌束长度等具体的参数反映骨骼肌结构的改变。此外,超声弹性成像技术和超声造影技术分别可以通过评估骨骼肌的弹性和微循环反映骨骼肌的功能改变。本文旨在对超声技术在骨骼肌系统的研究现状、临床应用价值及未来发展前景进行总结。

关键词 骨骼肌 超声 弹性成像 超声造影

中图分类号 R445

文献标识码 A

DOI 10.11969/j.issn.1673-548X.2020.10.038

目前常规超声技术在临床中的应用已十分广泛,伴随超声技术的飞速发展,以超声弹性成像和超声造影为代表的新技术在疾病诊治方面的研究取得了长足的进步,这也为超声技术在临床应用领域中的拓展提供了技术基础。近年来,应用超声技术对骨骼肌进行检查受到越来越多医务工作者的关注。为了更好地理解和掌握这些内容,笔者将近年来超声技术在骨骼肌病变中的应用及进展进行系统的总结和分析,主要包括常规二维超声、超声弹性成像技术和超声造影技术等。

一、常规二维超声

应用常规二维超声检查骨骼肌组织时,除了臀部、骨盆等深处的肌肉较难显示,其余浅表的肌肉组织相对易于观察。由于肌肉内的肌肉组织与结缔组织的比例及肌纤维的走行不同,肌肉组织在超声图像上的表现具有各向异性。正常的肌肉组织在超声图像横切面上表现为“星夜状”,即明亮的星星(结缔组织和肌腱呈高回声或强回声)点缀着黑夜(肌纤维呈低回声);纵切面图像上表现为羽毛状,低回声的肌纤维被高回声的肌束膜分割。肌外膜包绕在整块肌肉周边,与肌肉内的腱膜和肌腱一样,均为强回声结构。正常肌腱组织走行连续,内部回声均匀。当骨骼肌发生病理性改变时,超声不仅可以对病变进行定性

的描述,还可以通过一些具体的参数进行定量的分析。

1. 肌肉厚度:肌肉厚度在声像图中是指肌肉浅筋膜与深筋膜之间的距离。在临床上,肌肉厚度一方面可以用来评估肌肉的横截面积和肌量^[1]。另一方面,由于肌肉的横截面积和肌量与运动能力相关,因此肌肉厚度也可以在一定程度上反映运动能力。例如,Stasinaki等^[2]通过超声测量肌肉厚度来评估快速偏心深蹲训练和慢速偏心深蹲训练的效果。值得注意的是,Fukumoto等^[3]的研究结果表明腹部肌肉的肌肉厚度随着年龄的改变早于四肢肌肉。这提示在进行超声检查时,要考虑到肌肉组织本身的这种改变。对于骨骼肌中的肌腱组织,肌腱厚度亦常作为评价肌腱功能的一项指标。与肌肉厚度作用相似,肌腱厚度对肌腱病变的早期诊断以及预后评价均有一定的价值。例如,Tillander等^[4]研究结果显示跟腱疼痛或跟腱功能障碍人群的跟腱厚度较正常人群明显增厚。

目前临床上评估肌量还可以通过双能X线吸收法,生物电阻抗分析,CT或者MRI。多项研究结果表明,二维声像图中的肌肉厚度与双能X线吸收检测法,CT或者MRI的结果具有较高的一致性。因为超声技术没有放射损伤,且具有易于实施、可重复操作等优点,所以在实际临床工作中更具实用性。

2. 回声强度:回声强度是指肌肉组织在超声图像上的明亮程度。与肌肉厚度类似,回声强度也可以用来评价肌肉组织内的肌量。例如,Watanabe等^[5]的研究结果表明回声强度可以反映肌肉组织内的脂肪浸润,且与肌量具有一定的相关性。此外,相关研究表明回声强度的敏感度和特异性均高于肌肉厚度。

基金项目:国家自然科学基金资助项目(面上项目)(81670777);浙江省自然科学基金资助项目(LZ19 H020001)

作者单位:325000 温州医科大学附属第二医院超声科(徐茂晟、董雁雁、陈秀、王诗佳、孙谢璐、邹春鹏);310009 杭州,浙江大学医学院附属第二医院内分泌科(郑超)

通讯作者:邹春鹏,主任医师,硕士生导师,电子信箱:chpzou@126.com

例如,在某些神经肌肉疾病中,由于肌肉假性肥大(脂肪组织浸润或纤维结缔组织增生),此时肌肉厚度不能准确的反映肌肉解剖结构的变化,但是回声强度会增加;Folkmoort 等^[3]研究结果表明回声强度随年龄的改变早于肌肉厚度。对于肌腱组织,其内部回声的改变亦有一定的提示意义。例如,Giuliani 等^[6]研究表明老年人肌肉肌腱单元的回声强度明显高于年轻人。

除了超声外,双能 X 线吸收检测法,生物电阻抗分析,CT 或者 MRI 均可反映这种骨骼肌内部组织成分的变化。一些研究者分别对 CT、超声、MRI 在评估肌少症时骨骼肌内部组织成分变化方面进行了对比性研究,其结果表明超声诊断的结果与 CT 以及 MRI 诊断结果相关性良好。而且随着人工智能的飞速发展,超声图像的背景分析技术也逐步扩展到肌肉领域,相较于回声强度,背景分析技术可以提供肌肉组织的更多细节,更好地反映肌肉组织内微结构的改变,从而进一步提高超声技术在骨骼肌疾病中的临床价值^[7]。

3. 羽状角:羽状角在声像图中是指在纵切面上腱膜与肌纤维之间的夹角。羽状肌的角度会随着年龄而发生变化,正常情况下,羽状角自出生之后逐渐增加,经过青春后期后保持稳定。羽状角的大小已被证实与肌肉的最大收缩力和运动范围相关^[8]。这表明羽状角对于肌肉功能的改变具有一定的提示意义。例如,Kruse 等^[9]研究发现脑瘫患者受累肌肉的羽状角增加。Hullfish 等^[10]研究发现跟腱断裂后腓肠肌内侧头羽状角增加。另一方面,羽状角的大小还有助于评估病变范围以及预后。例如,Hayashi 等^[11]研究发现肩袖撕裂时冈上肌羽状角随着撕裂范围的增大而增大,且对于冈上肌羽状角 $>20^\circ$ 的肩袖撕裂而言,其术后再撕裂概率明显高于冈上肌羽状角 $<20^\circ$ 的肩袖撕裂。

羽状角还可以通过在 MRI 图像上测量。但由于常规的 MRI 序列由于分辨率原因对单个的肌纤维显示欠佳,因此往往需要借助于 MRI 弥散张量成像技术测量羽状角、肌束长度等参数,从这一实施角度来看,MRI 不如超声便捷。另一方面,相较于二维超声技术,MRI 可以对目标肌肉进行三维重建,从而克服某些肌肉组织超声图像显示不佳这一困难。例如,比目鱼肌的深层结构在超声图像上往往显示不满意,而利用 MRI 可以准确的测量比目鱼肌的羽状角和肌束长度^[12]。因此,在实际临床工作中,可对羽状角进行

观察时,如果相应的肌肉组织超声图像显示满意,即可以采用超声技术这种更便捷的方法,如果相应的肌肉组织超声图像显示不佳,则建议进行 MRI 检查。

4. 肌束长度:肌束长度在声像图是指在纵切面上肌束至腱膜之间的直线距离。肌束长度也会随着年龄的变化而发生改变。先前的研究表明肌束长度的大小与肌肉力量、运动范围以及收缩速度相关^[2]。这提示肌束长度对于影响肌肉功能的病变具有一定的提示意义。例如,Nelson 等^[13]对脑卒中患者肱二头肌长头肌以及肱三头肌内侧头肌的研究结果表明脑卒中患者上述肌肉肌束长度较正常人群缩短且缩短程度与脑卒中的严重程度相关;Hullfish 等^[10]在研究跟腱断裂对腓肠肌内侧头的短期效应时发现,跟腱断裂后腓肠肌内侧头的肌束长度会相应缩短。此外,肌束长度在预估肌肉损伤的风险以及损伤后康复方面也有一定的价值。但在使用肌束长度这一参数时,需要注意的是肌束长度的这种改变可以通过有效的锻炼在一定程度上逆转。例如,Pradines 等^[14]研究表明,偏瘫患者通过长期拉伸训练腓肠肌内侧头的肌束长度较训练前明显增加。

在临床工作中,肌束长度也可以通过 MRI 获得。相对于传统超声技术而言,MRI 可以克服某些部位肌肉结构在超声图像显示不满意的缺点,从而准确的测量肌束长度。但随着超声宽态成像及三维技术的发展,这将弥补传统超声对部分肌束长度显示不佳的不足,为超声技术在肌束长度中的应用提供更为有力的技术支持。

二、超声弹性成像技术

肌肉的弹性是指肌肉在力的作用下变形的容易程度,可以在一定程度上反应肌肉本身的物理特性。随着年龄的增长或在某些神经肌肉疾病中,肌肉内部结构发生改变,导致肌肉本身的弹性发生改变。超声弹性成像技术可以通过不同的方式对组织施加力,测量其变形程度,从而描述组织弹性。

在实际工作中,超声弹性成像技术可以通过测量骨骼肌的弹性来反映骨骼肌的改变。例如,Paramalingam 等^[15]报道特发性炎症性肌病患者受累肌肉的平均应变指数较健侧明显增高;Zhu 等^[16]报道肱骨外上髁炎患者患侧伸肌总腱剪切波速度较健侧明显减低,而且 Gao 等^[17]研究结果显示,在肌肉弹性值的改变与患者的症状具有一定的相关性。另一方面,骨骼肌的弹性对与外科手术也具有一定的提示意义。相关文献报道肌肉的弹性值可以很好地反映肩袖撕

裂、膝关节骨科手术等术后相关肌肉功能和活性。此外,由于肌肉细微结构的改变就可能导致肌肉的弹性发生改变,因此弹性超声的敏感度在一些骨骼肌病变中高于传统的二维超声。例如,Lin等^[18]研究结果表明当冈上肌内存在脂肪浸润时,在二维灰阶超声尚未发生异常前,其弹性值已经发生改变。

除了超声弹性成像技术,核磁共振弹性成像技术也可以用来评价骨骼肌的弹性。部分研究表明磁共振弹性成像技术在评价组织弹性时较超声弹性成像更为准确。这可能是由于取样范围较大、操作者水平高低等影响因素而导致的误差。此外,尽管相关研究结果表明弹性超声技术在受试者内及受试者间具有很好的可靠性,但超声弹性成像的测量结果受体位因素的影响较大,即同一肌肉在不同体位下其测量结果存在差异,因此在测量骨骼肌组织弹性值时应避免患者体位改变所带来的测量误差。虽然在准确性方面,核磁共振弹性成像技术优于超声弹性成像技术,但超声弹性成像技术具有操作简便、无明显禁忌证的特点,应该还有很大的提升空间。

三、超声造影技术

虽然骨骼肌作为全身毛细血管交换最大且最为重要的场所,但是到目前为止,笔者对微循环在维持骨骼肌健康中的作用认识却是有限的。超声造影是指在常规二维超声的基础上,静脉注射超声造影剂,增强人体血流的散射信号,进而实时动态的观察组织血流灌注及微循环情况。相较于其他侵入性的血流运动的方法,超声造影可以相对无创的对肌肉组织的灌注情况以及不同状态下的肌肉组织血流情况进行评估,进而反应肌肉组织的活性和代谢能力。

目前,超声造影技术在骨骼肌中主要用于反映骨骼肌本身的血流灌注情况以及探测异常的血流通路。例如,Kellermann等^[19]利用超声造影技术评估延迟性肌肉疼痛患者受累肌肉的血流灌注改变情况从而了解受累肌肉的炎性反应及再生过程。Marchi等^[20]利用超声造影对跟腱炎患者跟腱新生血管的情况进行评估。此外,对于某些低级别的急性肌肉损伤,超声造影的敏感度高于传统的超声检查。这可能是由于在低级别的急性肌肉损伤中肌肉组织仅表现为微循环的损伤,而肌肉的结构和功能尚维持正常,因此应用传统超声检查并不能发现病变,但是在对受累肌肉进行超声造影时,可以发现病变区域的强化程度减低^[21]。

除了超声造影,血氧水平依赖磁共振成像也可以

用来评估骨骼肌微循环。相较超声造影,血氧水平依赖磁共振成像不需要注射造影剂,可以同时提供骨骼肌形态及功能信息,但血氧水平依赖磁共振成像技术目前研究尚不充分,仍存在的一些问题亟待解决。因此,超声造影目前仍是临床上评价骨骼肌微循环的主要手段。

四、展 望

超声技术不仅可以通过肌肉厚度、回声强度等参数反映骨骼肌组织解剖结构的变化,还可以通过弹性成像和超声造影技术进一步反映骨骼肌物理特性和组织功能上的变化。但是由于超声技术近年来才逐渐应用在骨骼肌领域并逐步推广,对于一些骨骼肌病变的研究深度还不够,例如,对于骨骼肌肿瘤、肌筋膜病变、腱膜病变等的研究较少。此外,骨骼肌异常也可由其他系统疾病引起,例如,恶性肿瘤、代谢综合征等疾病均可造成骨骼肌组织发生病理性改变,目前对于这部分内容的研究也不多,仍需要进一步的探索。通过超声技术的充分应用,有可能获得更多具有临床价值的信息,为骨骼肌病变的诊治及随访提供可靠的影像学依据。另一方面,伴随着人工智能的快速发展,有可能通过背景分析等新技术对超声图像进行后处理获得更丰富的骨骼肌图像信息,这将进一步扩展超声技术在骨骼肌疾病中的应用。总之,对于骨骼肌病变,超声具有良好的特异性和敏感度,拥有很好的发展前景。

参考文献

- 1 Zhu S, Lin W, Chen S, *et al.* The correlation of muscle thickness and pennation angle assessed by ultrasound with sarcopenia in elderly Chinese community dwellers [J]. *Clin Interv Aging*, 2019, 14: 987-996
- 2 Stasinaki AN, Zaras N, Methenitis S, *et al.* Rate of force development and muscle architecture after fast and slow velocity eccentric training[J]. *Sports*, 2019, 7(2): 41
- 3 Fukumoto Y, Ikezoe T, Yamada Y, *et al.* Age-related ultrasound changes in muscle quantity and quality in women[J]. *Ultrasound Med Biol*, 2015, 41(11): 3013-3017
- 4 Tillander B, Gauffin H, Lyth J, *et al.* Symptomatic achilles tendons are thicker than asymptomatic tendons on ultrasound examination in recreational long-distance runners[J]. *Sports (Basel)*, 2019, 7(12): 245
- 5 Watanabe Y, Ikenaga M, Yoshimura E, *et al.* Association between echo intensity and attenuation of skeletal muscle in young and older adults: a comparison between ultrasonography and computed tomography[J]. *Clin Interv Aging*, 2018, 13: 1871-1878
- 6 Giuliani HK, Gerstner GR, Mota JA, *et al.* Age-related changes in the passive properties of the plantarflexors: influence of tissue size and

- quality[J]. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2019, 68: 53 – 57
- 7 Sogawa K, Nodera H, Takamatsu N, *et al.* Neurogenic and myogenic diseases: quantitative texture analysis of muscle US data for differentiation[J]. *Radiology*, 2017, 283(2): 492 – 498
 - 8 Chen Y, He L, Xu K, *et al.* Comparison of calf muscle architecture between Asian children with spastic cerebral palsy and typically developing peers[J]. *PLoS One*, 2018, 13(1): e0190642
 - 9 Kruse A, Schranz C, Tilp M, *et al.* Muscle and tendon morphology alterations in children and adolescents with mild forms of spastic cerebral palsy[J]. *BMC Pediatr*, 2018, 18(1): 156
 - 10 Hullfish TJ, O'Connor KM, Baxter JR. Gastrocnemius fascicles are shorter and more pennate throughout the first month following acute Achilles tendon rupture[J]. *Peer J*, 2019, 7: e6788
 - 11 Hayashi I, Enokida M, Nagira K, *et al.* Change in the pennation angle of the supraspinatus muscle after rotator cuff tear repair[J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2019, 28(5): 888 – 892
 - 12 Bolsterlee B, Finni T, D'Souza A, *et al.* Three – dimensional architecture of the whole human soleus muscle in vivo[J]. *Peer J*, 2018, 6: e4610
 - 13 Nelson CM, Murray WM, Dewald JPA. Motor impairment – related alterations in biceps and triceps brachii fascicle lengths in chronic hemiparetic stroke[J]. *Neurorehabil Neural Repair*, 2018, 32(9): 799 – 809
 - 14 Pradines M, Ghedira M, Portero R, *et al.* Ultrasound structural changes in triceps surae after a 1 – year daily self – stretch program: a prospective randomized controlled trial in chronic hemiparesis[J]. *Neurorehabili Neur Repair*, 2019, 33(4): 245 – 259
 - 15 Paramalingam S, Counsel P, Mastaglia FL, *et al.* Imaging in the diagnosis of idiopathic inflammatory myopathies; indications and utility [J]. *Exp Rev Neurother*, 2019, 19(2): 173 – 184
 - 16 Zhu B, You Y, Xiang X, *et al.* Assessment of common extensor tendon elasticity in patients with lateral epicondylitis using shear wave elastography[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2020, 10(1): 211 – 219
 - 17 Gao J, Memmott B, Poulson J, *et al.* Quantitative ultrasound imaging to assess skeletal muscles in adults with multiple sclerosis: a feasibility study[J]. *J Ultrasound Med*, 2019, 38(11): 2915 – 2923
 - 18 Lin DJ, Burke CJ, Abiri B, *et al.* Supraspinatus muscle shear wave elastography (SWE): detection of biomechanical differences with varying tendon quality prior to gray – scale morphologic changes [J]. *Skeletal Radiol*, 2020, 49(5): 731 – 738
 - 19 Kellermann M, Heiss R, Swoboda B, *et al.* Intramuscular perfusion response in delayed onset muscle soreness (DOMS): a quantitative analysis with contrast – enhanced ultrasound (CEUS) [J]. *Int J Sports Med*, 2017, 38(11): 833 – 841
 - 20 De Marchi A, Pozza S, Cenna E, *et al.* In achilles tendinopathy, the neovascularization, detected by contrast – enhanced ultrasound (CEUS), is abundant but not related to symptoms [J]. *Knee Surg, Sports Traumatol, Arthrosc*, 2018, 26(7): 2051 – 2058
 - 21 Hotfiel T, Heiss R, Swoboda B, *et al.* Contrast – enhanced ultrasound as a new investigative tool in diagnostic imaging of muscle injuries – a pilot study evaluating conventional ultrasound, CEUS, and findings in MRI [J]. *Clin J Sport Med*, 2018, 28(4): 332 – 338
- (收稿日期: 2020 – 04 – 11)
(修回日期: 2020 – 05 – 01)
-
- (上接第 162 页)
- 3 Escaloni J, Butts R, Dunning J. The use of dry needling as a diagnostic tool and clinical treatment for cervicogenic dizziness: a narrative review & case series[J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2018, 22(4): 947 – 955
 - 4 王岩. 坎贝尔骨科手术学(第 12 版). 第 5 卷 运动医学及关节镜 [M]. 北京, 人民军医出版社, 2015
 - 5 Hong CZ. Treatment of myofascial pain syndrome [J]. *Curr Pain Headache Rep*, 2006, 10(5): 345 – 349
 - 6 Zuckerman JD, Rokito A. Frozen shoulder: a consensus definition [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2011, 20(2): 325
 - 7 Cho CH, Kim DH, Bae KC, *et al.* Proper site of corticosteroid injection for the treatment of idiopathic frozen shoulder: results from a randomized trial[J]. *Joint Bone Spine*, 2016, 83(3): 324 – 329
 - 8 Hsu JE, Anakwenze OA, Warrender WJ, *et al.* Current review of adhesive capsulitis[J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2011, 20: 502 – 514
 - 9 Kean CC, Jalil NA. Myofascial pain syndrome in Chronic back pain patients[J]. *Korean J Pain*, 2011, 24(2): 100 – 104
 - 10 Simons DG, Mense S. Diagnosis and therapy of myofascial trigger points[J]. *Schmerz*, 2003, 17(6): 419 – 424
 - 11 Perreault T, Dunning J, Butts R. The local twitch response during trigger point dry needling: is it necessary for successful outcomes? [J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2017, 21(4): 940 – 947
 - 12 José L, Arias – Buría JL, César, *et al.* Exercises and dry needling for subacromial pain syndrome: a Randomized Parallel – Group Trial[J]. *J Pain*, 2017, 18(1): 11 – 18
 - 13 Bron C, Gast AD, Dommerholt J, *et al.* Treatment of myofascial trigger points in patients with chronic shoulder pain: a randomized, controlled trial[J]. *BMC Med*, 2011, 9(1): 8
 - 14 Tough EA, White AR, Cummings TM, *et al.* Acupuncture and dry needling in the management of myofascial trigger point pain: a systematic review and meta analysis of randomised controlled trials[J]. *Eur J Pain*, 2009, 13(1): 3 – 10
 - 15 Brennan KL, Allen BC, Maldonado YM. Dry needling versus cortisone injection in the treatment of greater trochanteric pain syndrome: a noninferiority randomized clinical trial[J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2017, 47(4): 232 – 239
 - 16 Kamali F, Sinaei E, Morovati M. Comparison of upper trapezius and infraspinatus myofascial trigger point therapy by dry needling in overhead athletes with unilateral shoulder impingement syndrome[J]. *J Sport Rehabil*, 2019, 28(3): 1 – 24
 - 17 Hanratty CE, McVeigh JG, Kerr DP, *et al.* The effectiveness of physiotherapy exercises in subacromial impingement syndrome: a systematic review and Meta – analysis[J]. *Semin Arthritis Rheum*, 2012, 42(3): 297 – 316
- (收稿日期: 2020 – 04 – 22)
(修回日期: 2020 – 04 – 23)