

Research progress of quantitative ultrasound in assessment of muscle function

LIU Meikuai, CHEN Bin*

(Department of Ultrasound, the First Affiliated Hospital of
Wenzhou Medical University, Wenzhou 325000, China)

[Abstract] In the research field of muscle biomechanics, methods of studying muscle function have emerged, such as electromyography, isokinetic testing system, mechanomyography, CT and MRI, etc., which provide a powerful help for quantitative evaluation of muscle function. However, the application in muscle assessment has been restricted because of high cost or radiation. Quantitative ultrasound has been widely applied to clinical diagnosis and biomechanics due to real-time, portable, non-radiative and low-cost characteristics. The applications of quantitative ultrasound in evaluation on muscle function were reviewed in this paper.

[Key words] Ultrasonography; Muscle function; Motor skills disorders

DOI:10.13929/j.1672-8475.201807030

定量超声评估肌肉功能研究进展

刘美快 综述, 陈 斌* 审校

(温州医科大学附属第一医院超声科, 浙江 温州 325000)

[摘 要] 在肌肉生物力学研究领域已经出现了各种研究肌肉功能的方法, 如肌电图、等速测速仪、肌动图、CT 及 MRI 等, 为定量评估肌肉功能提供了很大帮助, 但研究成本高、有辐射等限制了以上方法的临床应用。定量超声以实时、便携、无辐射、低成本的优点广泛应用于临床医学的诊断和生物力学领域。本文对定量超声在肌肉功能评估中的应用进展进行综述。

[关键词] 超声检查; 肌肉功能; 运动技能障碍

[中图分类号] R337; R445.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-8475(2018)12-0769-04

目前, 免疫组化、电泳、分子克隆等多领域研究已经加深了对肌肉形态、功能的认识。研究肌肉的结构参数、评估肌肉功能可进一步了解人体运动功能的生物力学机制, 有助于掌握人体运动的力学规律。定量超声可在二维超声图像中提取结构性参数, 如羽状角(pennation angle, PA)、肌纤维长度(fascicle length, FL)、肌肉厚度(muscle thickness, MT)、肌肉横截面

积(cross-sectional area, CSA)和横断面厚宽比(thickness-width ratio, TWR)等, 以显示肌肉的状态变化, 并以此评估肌肉活动时的状态变化。本文对定量超声在肌肉功能评估中的应用进展进行综述。

1 肌肉的结构性参数

1.1 PA PA 是指肌束与深层筋膜所形成的角度, 即肌束的方向。人类骨骼肌中 PA 一般为 $5^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 但不同肌肉群间 PA 大小有所差异。PA 与肌纤维收缩的数目密切相关, PA 越大, 肌纤维收缩的数目越多, 肌肉的发力能力也越大^[1]; 同理, 当肌肉收缩时 PA 也会增大。因此, PA 常被用于评估肌肉的收缩状况、肌肉状态与力量间的关系等。同时, PA 决定着肌纤维收缩力向筋膜的传递, PA 越小, 越有利于收缩力向筋膜传递。以 45° 为界限, $PA < 45^{\circ}$ 时收缩力的传递效果较

[基金项目] 温州市科技计划项目(Y20170217)。

[第一作者] 刘美快(1985—), 女, 浙江温州人, 硕士, 医师。研究方向: 肌骨超声及治疗研究。E-mail: 178041557@qq.com

[通信作者] 陈斌, 温州医科大学附属第一医院超声科, 325000。
E-mail: chenbeultrasound@163.com

[收稿日期] 2018-07-23 **[修回日期]** 2018-11-02

好, $PA \geq 45^\circ$ 时收缩力的传递较低效, 伴随着肌纤维长度变短, 肌肉收缩的速率和筋膜的移动距离范围缩小。

1.2 FL FL 是指肌束两端分别与浅层筋膜和深层筋膜交叉点的连线长度, 是重要的肌肉形态学参数。肌肉收缩或体位变化时, FL 随之发生改变。FL 与肌肉收缩的速度和范围成正比^[2]。研究^[3]发现, 短跑运动员较中跑运动员和普通人群具有更长的 FL 和较小的 PA。肌纤维较长的肌肉收缩速度更快、范围更大, 肌纤维较短而横截面积大的肌肉则更易产生力。尽管短的肌纤维和长的肌纤维在力量-长度曲线中峰值一样, 但长的肌纤维肌肉主动收缩的范围更大, 这与关节的主动活动度密切相关。

1.3 MT MT 指包围某块肌肉的上下肌膜之间的距离, 其数值直接反映肌肉含量。测量 MT 可用于临床评估神经肌肉疾病及脑卒中、小儿脑瘫的肌肉强度及选择治疗方案。Thoirs 等^[4]利用定量超声测量 MT 来客观评价脑卒中患者的肌肉强度。另外, MT 的变化是评估肌肉是否处于疲劳状态的重要指标。Shi 等^[5]采用定量超声观察肱二头肌等长收缩时的 MT, 发现 MT 随着肌肉疲劳程度增高而加大。

1.4 CSA CSA 是指肌肉所含肌纤维横截面积的总和, 分为解剖 CSA 和生理 CSA, 肌肉的生理 CSA 越大, 则收缩力越大。同时, 肌肉生理 CSA 与 PA 和 FL 关系密切, 腓肠肌从放松到完全收缩的过程中, 在 PA 和 FL 增加的同时, 肌肉生理 CSA 也会增加。近年, 越来越多的临床医师致力于采用超声研究肌肉骨骼, 其中测量骨骼肌生理 CSA 是其中一项重要的应用。Seymour 等^[6]采用定量超声测量股直肌的生理 CSA, 结果显示慢性阻塞性肺疾病患者股直肌生理 CSA 较健康对照组平均下降 25%, 且股直肌肌力与生理 CSA 呈线性相关。

2 定量超声在肌肉功能状态研究的应用

2.1 定量超声评估肌肉收缩 肌肉的力学特性与其结构形态相关。定量超声可获得 FL、PA 和 MT 等肌肉结构参数, 直接或间接反映肌肉力的产生和输出。人体的运动是在关节和肌腱的配合下, 由骨骼肌收缩而形成。因此, 肌肉收缩是反映肌肉功能和活动状态的重要指标。当肌肉处于放松和收缩两种不同状态时, PA 和 FL 各有不同。Reeves 等^[7]发现随肌肉收缩程度的变化, PA 和 FL 会发生相应改变。最大等长收缩是定量评定肌肉功能的可靠指标。范宏娟等^[8]运用定量超声研究放松状态与处于不同张力等长收缩状态时股四头肌形态的变化, 结果发现股四头肌抗阻收

缩前后形态变化大, 并认为 CSA 的变化比 MT 的变化更有意义。

2.2 定量超声评估肌肉状态和力量之间的关系 运用定量超声分析静态和动态时肌肉状态与力量的关系可了解肌肉力量和其相关的身体运动和性能。从生理角度看, 根据 CSA 能有效预测肌肉的力量和输出的功率, CSA 越大, 肌肉力量就越大。Maganaris^[9]通过比较胫骨前肌与比目鱼肌 FL 和力量之间的关系, 发现 CSA 决定肌肉力量的大小, 且这两种肌肉的 FL 和力量之间呈先上升后平缓的曲线关系; 不仅肌肉力量与 CSA 呈线性相关, MT 与 CSA 也密切相关, 因此认为 MT 可评估肌肉功能。超声测量厚度是估计躯干和肢体肌肉功能和力量的有效、可靠方法^[10-12]。Abe 等^[13]研究老年男性大腿前、后部 MT 与膝关节等长伸直和屈曲强度之间的关系, 发现大腿前部的 MT 与伸膝强度有较强的相关性。既往研究^[14]表明, 超声测量大腿前部肌肉的 MT 是评估膝关节最大伸直强度的有效的预测因子, 这与 MRI 测量肌肉 CSA 的结果相似。

2.3 定量超声评估肌肉状态的影响因素 肌肉功能状态受多种因素的影响, 如年龄、性别、姿势及肌肉是否处于疲劳状态等。童年时期 MT 增加迅速, 性别差异并不会影响 MT; 青春期男性 MT 增长较女性快; 青春期之后, MT 进一步增加, 25~50 岁达高峰, 此后, MT 逐渐减低, 且随着年龄增长 MT 的减低加速。年龄和性别对 MT 的影响与神经、代谢、内分泌、营养和物理等间复杂的作用有关。Narici 等^[15]采用定量超声比较青年人和老年人的肌肉结构参数, 发现青年人 FL 和 CAS 均大于老年人, 表明肌肉功能状态与年龄有关。Thom 等^[16]利用定量超声测量正常老年人的肌肉, 发现其肌肉结构参数均较年轻时减少。此外, 肌肉的回声也随年龄而改变。儿童时期男性与女性肌肉回声强度相同, 16 岁以后男性肌肉回声强度低于女性; 40 岁以后男性与女性肌肉回声强度均增加, 可能是由于随着年龄增长, 肌肉被脂肪和纤维组织取代导致。因此, 超声评估不同人群不同时期的不同肌肉时, 应该综合考虑其影响因素^[17-18]。

2.4 定量超声在人体运动研究中的应用 定量超声可量化肌肉结构参数, 为训练前后的肌肉状况提供客观依据。Rostami 等^[19]利用定量超声和肌力测定装置测量无症状越野自行车运动员和腰痛患者在静息和收缩状态下 L4 两侧多裂肌 CSA 及背部伸肌肌力, 发现腰痛患者多裂肌 CSA 在两种不同的状态下均显著降低。多裂肌 CSA 降低与背部伸肌肌力降低呈正相

关。Ghasemi 等^[20]对慢性脑卒中者进行为期 4 周的功能性伸展运动训练,发现该训练不仅对腓肠肌的神经性有改善作用,还对肌肉结构参数有促进作用。类风湿性关节炎患者锻炼后手指总伸肌 CSA 增加,这可能意味着训练能对抗肌肉萎缩,增大肌肉体积。既往研究骨骼肌运动的生物力学机制仅采用单一技术,导致提供肌肉特性的信息有限;而多种手段相结合的方式为研究肌肉的运动特性提供了更大帮助。Aggeloussis 等^[21]将人体运动分析系统与超声仪器相结合,以验证肌肉结构性参数的重现性,证实 PA、FL 和 MT 均可用于分析人体的运动。多种手段及新的成像技术为更深层次地理解人体运动中肌肉的生物力学特性奠定了基础^[22]。

2.5 定量超声在运动功能障碍患者研究的应用 定量超声能评估和量化肌肉结构的变化,故可用于评估骨骼肌的变化情况。近年来,有学者^[23]开始通过定量超声观察中枢神经系统损伤所致肌张力异常。Gao 等^[24]通过定量超声发现病程超过 1 年的慢性脑卒中患者患侧腓肠肌 MT 较正常人薄且 FL 变短、FA 变小;之后又利用定量超声发现脑瘫儿童腓肠肌内侧头的 FL 较正常儿童变短且 CSA 缩小,肌腱变长^[25]。

通过训练可使中枢神经系统损伤患者的肌肉形态结构发生适应性改变。Lee 等^[26]采用定量超声观察脑瘫患儿接受综合性手功能重复强化训练后上肢肌肉的变化,发现患侧肱三头肌和桡侧腕伸肌的 CSA 均增大,且相关运动功能得到很大提高。Liu 等^[27]对亚急性脑卒中患者进行为期 3 周的减重步行训练,发现胫骨前肌的 FA、MT 及腓肠肌内侧头的 FL 均显著增加,下肢运动功能也得到提高。

3 小结与展望

定量超声是可视化的肌肉组织成像技术,其优势为:①能简便、无创、实时、无辐射地测量肌肉的结构参数;②可动态成像,为运动过程中肌肉结构变化提供可靠的定量数据;③有效观察肌肉收缩和舒张过程中的动态特性,指导康复计划的制定、评估康复治疗效果,提高人体的运动效率。随着超声成像技术的不断发展,超声弹性成像、全景超声、三维超声等新技术的出现,今后将出现更多不同的模式用于肌肉形态学研究。

[参考文献]

[1] Manal K, Roberts DP, Buchanan TS. Optimal pennation angle of the primary ankle plantar and dorsiflexors: Variations with sex,

contraction intensity, and limb. *J Appl Biomech*, 2006, 22(4): 255-263.

- [2] Lichtwark GA, Bougoulas K, Wilson AM. Muscle fascicle and series elastic element length changes along the length of the human gastrocnemius during walking and running. *J Biomech*, 2007, 40(1):157-164.
- [3] Abe T, Fukashiro S, Harada Y, et al. Relationship between sprint performance and muscle fascicle length in female sprinters. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci*, 2001, 20(2):141-147.
- [4] Thoirs K, English C. Ultrasound measures of muscle thickness: Intra-examiner reliability and influence of body position. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2009, 29(6):440-446.
- [5] Shi J, Zheng YP, Chen X, et al. Assessment of muscle fatigue using sonomyography: Muscle thickness change detected from ultrasound images. *Med Eng Phys*, 2007, 29(4):472-479.
- [6] Seymour JM, Ward K, Sidhu PS, et al. Ultrasound measurement of rectus femoris cross-sectional area and the relationship with quadriceps strength in COPD. *Thorax*, 2009, 64(5):418-423.
- [7] Reeves ND, Narici MV. Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo. *J Appl Physiol* (1985), 2003, 95(3):1090-1096.
- [8] 范宏娟,王新北,史进军,等.超声对股四头肌用力收缩前后形态测量的初步研究. *中国康复理论与实践*, 2011, 17(3):271-273.
- [9] Maganaris CN. Force-length characteristics of in vivo human skeletal muscle. *Acta Physiol Scand*, 2001, 172(4):279-285.
- [10] Tillquist M, Kutsogiannis DJ, Wischmeyer PE, et al. Bedside ultrasound is a practical and reliable measurement tool for assessing quadriceps muscle layer thickness. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 2014, 38(7):886-890.
- [11] Crofts G, Angin S, Mickle KJ, et al. Reliability of ultrasound for measurement of selected foot structures. *Gait Posture*, 2014, 39(1):35-39.
- [12] König N, Cassel M, Intziagianni K, et al. Inter-rater reliability and measurement error of sonographic muscle architecture assessments. *J Ultrasound Med*, 2014, 33(5):769-777.
- [13] Abe T, Kojima K, Stager JM. Skeletal muscle mass and muscular function in master swimmers is related to training distance. *Rejuvenation Res*, 2014, 17(5):415-421.
- [14] Moreau NG, Simpson KN, Teefey SA, et al. Muscle architecture predicts maximum strength and is related to activity levels in cerebral palsy. *Phys Ther*, 2010, 90(11):1619-1630.
- [15] Narici MV, Maganaris CN, Reeves ND, et al. Effect of aging on human muscle architecture. *J Appl Physiol* (1985), 2003, 95(6):2229-2234.
- [16] Thom JM, Morse CI, Birch KM, et al. Influence of muscle architecture on the torque and power-velocity characteristics of young and elderly men. *Eur J Appl Physiol*, 2007, 100(5):613-619.
- [17] Abe T, Loenneke JP, Thiebaud RS, et al. Age-related site-specific muscle wasting of upper and lower extremities and trunk in Japanese men and women. *Age (Dordr)*, 2014, 36(2):

- 813-821.
- [18] Strasser EM, Draskovits T, Prashak M, et al. Association between ultrasound measurements of muscle thickness, pennation angle, echogenicity and skeletal muscle strength in the elderly. *Age (Dordr)*, 2013, 35(6):2377-2388.
- [19] Rostami M, Ansari M, Noormohammadpour P, et al. Ultrasound assessment of trunk muscles and back flexibility, strength and endurance in off-road cyclists with and without low back pain. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2015, 28(4):635-644.
- [20] Ghasemi E, Khademi-Kalantari K, Khalkhali-Zacieh M, et al. The effect of functional stretching exercises on neural and mechanical properties of the spastic medial gastrocnemius muscle in patients with chronic stroke: A randomized controlled trial. *J Stroke Cerebrovasc Dis*, 2018, 27(7):1733-1742.
- [21] Aggeloussis N, Giannakou E, Albracht K, et al. Reproducibility of fascicle length and pennation angle of gastrocnemius medialis in human gait in vivo. *Gait Posture*, 2010, 31(1):73-77.
- [22] 程晓光, 张晶. 功能磁共振成像技术在骨骼肌肉系统应用的现状与展望. *中国医学影像技术*, 2008, 24(10):1489-1489.
- [23] Li L, Tong KY, Hu XL, et al. Incorporating ultrasound-measured musculotendon parameters to subject-specific EMG-driven model to simulate voluntary elbow flexion for persons after stroke. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*, 2009, 24(1):101-109.
- [24] Gao F, Grant TH, Roth EJ, et al. Changes in passive mechanical properties of the gastrocnemius muscle at the muscle fascicle and joint levels in stroke survivors. *Arch Phys Med Rehabil*, 2009, 90(5):819-826.
- [25] Gao F, Zhao H, Gaebler-Spira D, et al. In vivo evaluations of morphologic changes of gastrocnemius muscle fascicles and Achilles tendon in children with cerebral palsy. *Am J Phys Med Rehabil*, 2011, 90(5):364-371.
- [26] Lee DR, You JH, Lee NG, et al. Comprehensive hand repetitive intensive strengthening training (Christ)-induced morphological changes in muscle size and associated motor improvement in a child with cerebral palsy: An experimenter-blind study. *Neuro Rehabilitation*, 2009, 24(2):109-117.
- [27] Liu P, Wang Y, Hu H, et al. Change of muscle architecture following body weight support treadmill training for persons after subacute stroke: Evidence from ultrasonography. *Biomed Res Int*, 2014, 2014:270676.

本刊可以直接使用的英文缩略语(二)

- | | |
|--|--|
| 经胸超声心动图(transthoracic echocardiography, TTE) | 机械指数(mechanical index, MI) |
| 经食管超声心动图(transesophageal echocardiography, TEE) | 阻力指数(resistance index, RI) |
| 彩色多普勒血流显像(color Doppler flow imaging, CDFI) | 正电子发射型计算机断层扫描(positron emission computed tomography, PET) |
| 彩色多普勒能量图(color Doppler energy, CDE) | 单光子发射型计算机断层扫描(single photon emission computed tomography, SPECT) |
| 组织速度成像(tissue velocity imaging, TVI) | 发射型计算机断层扫描(emission computed tomography, ECT) |
| 应变率成像(strain rate imaging, SRI) | 氟脱氧葡萄糖(fluorodeoxyglucose, FDG) |
| 速度向量成像(velocity vector imaging, VVI) | 亚甲基二磷酸盐(Methylene diphosphonate, MDP) |
| 脉冲多普勒(pulsed wave Doppler, PWD) | N-乙酰天冬氨酸(N-acetylaspertate, NAA) |
| 多普勒组织成像(Doppler tissue imaging, DTI) | 胆碱(choline, Cho) |
| 彩色多普勒成像(color Doppler imaging, CDI) | 肌酸(creatine, Cr) |
| 超声造影(contrast enhanced ultrasound, CEUS) | 置信区间(confidence interval, CI) |
| 斑点追踪成像(speckle tracking imaging, STI) | |
| 高强度聚焦超声(high intensity focused ultrasound, HIFU) | |