・临床研究・

脑卒中患者小腿肌肉形态结构变化的定量超声研究*

刘美快1 徐乐义2 李海燕2 陈顺平1 陈 斌1.3

摘要

目的:应用定量超声评价脑卒中患者小腿肌肉形态结构的变化。

方法:选择30例脑卒中患者和30例正常人,选取踝关节0°(解剖中立位)时,分别在静息状态与最大等长收缩状态下,应用高频超声测量脑卒中患者健侧、患侧和正常人的一侧小腿的胫骨前肌(TA)及腓肠肌内侧头(MG)的形态结构参数,包括羽状角、肌肉厚度及肌纤维长度。

结果:静息状态及最大等长收缩状态下,脑卒中患者患侧TA和MG的羽状角和肌肉厚度均较健侧和正常人减小(P<0.05)。静息状态及最大等长收缩状态下,脑卒中患者患侧TA和MG的肌纤维长度均较健侧和正常人长(P<0.05)。而健侧和正常人无显著性差异(P>0.05)。

结论:脑卒中后患者TA和MG的形态结构参数发生了改变,超声可量化评估脑卒中患者肌肉结构参数。

关键词 超声;肌肉结构参数;脑卒中;胫骨前肌;腓肠肌内侧头

中图分类号:R730.4,R741,R337 文献标识码:A 文章编号:1001-1242(2018)-10-1183-05

A study on quantitative ultrasound on evaluating the architectural parameters of lower leg muscles in stroke survivors/LIU Meikuai, XU Leyi, LI Haiyan, et al.//Chinese Journal of Rehabilitation Medicine, 2018, 33(10): 1183—1187

Abstract

Objective: To evaluate the changes of architectural parameters of lower leg muscles in stroke survivors, measured by ultrasound.

Method: Thirty stroke survivors and thirty healthy subjects were recruited in this study. When they were at rest and during maximum isometric voluntary contraction(MIVC) respectively, the muscle architectures parameters of tibialis anterior(TA) and medial gastrocnemius(MG) in affected side and unaffected side of stroke survivors and one side of healthy subjects were measured at 0 degrees of ankle joint (anatomic neutrality) by ultrasonography, including the pennation angle, muscle thickness, and fascicle length.

Result: At the affected side of stroke survivors, the pennation angle and muscle thickness of TA and MG were less than those at the unaffected side and healthy subjects at rest and during MIVC(P < 0.05). Furthermore, at the affected side of stroke survivors, the fascicle length of TA and MG were longer than those at the unaffected side and healthy subjects at rest and during MIVC(P < 0.05). But no significant difference was found in the unaffected side and healthy subjects(P > 0.05).

Conclusion: There are considerable changes in the muscle architecture of TA and MG of post-stroke. Ultrasound can quantitatively evaluate the muscle structure parameters of stroke survivors.

Author's address Dept. of Ultrasonography, The First Affiliated Hospital of Wenzhou Medical University, Wenzhou, 325000

Key word stroke; ultrasound; structural parameters of the muscle; tibialis anterior; medial gastrocnemius

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2018.10.010

^{*}基金项目:温州市科技计划项目(Y20170217)

¹ 温州医科大学附属第一医院超声科,325000; 2 温州医科大学附属第一医院康复科; 3 通讯作者

作者简介:刘美快,女,住院医师; 收稿日期:2018-06-04

脑卒中患者初次患病后会遗留下不同程度的运 动功能障碍。其中下肢运动功能障碍表现为肌力减 弱、运动控制差和痉挛状态等,易导致脑卒中患者行 走时异常步态,平衡障碍及跌倒风险增加,严重影响 了患者的生活质量^[1]。脑卒中后胫骨前肌(tibialis anterior, TA) 肌无力使踝关节背屈受限,导致足下 垂^[2]。腓肠肌内侧头(medial gastrocnemius, MG)对 人的行走及平衡起着重要的作用^[3]因此本研究洗取 这两块肌肉。肌肉结构,即为肌束的几何排列,能影 响力学特征,是肌肉功能的主要决定因素^[4]。肌肉 结构在人体的肌肉功能起着至关重要的作用^[5]。脑 卒中后瘫痪的肌肉结构会发生变化,影响肌肉的功 能。有研究显示,脑卒中后瘫痪的肌肉体积减少,运 动单位的肌肉数量减少¹⁶,而这些肌肉结构改变与肌 肉无力、痉挛状态和挛缩高度相关[7-9],因此理解病 理状态下肌肉形态和功能的变化,临床能更好地对 患者进行评估和有针对性的康复训练,对诊断和康 复治疗都很重要。定量超声能通过二维超声图像中 提取的结构性参数,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)等,可以此评估分析肌肉活动时的状态变化^[10]。

目前,定量超声测量肌肉结构的大部分试验是 通过正常人或者运动员来完成的。近年来研究者利 用定量超声对脑卒中患者肌肉进行形态结构的观 察^[11-12]。据研究,康复的最佳时期是卒中后的前3 个月,6个月后恢复趋于缓慢,进入平台期^[13],因此前 3个月为康复的重要时期,故选取这一时期脑卒中 患者为研究对象。本研究采用定量超声客观地评估 脑卒中患者 TA 及 MG 形态结构的改变,进一步了解 其生物力学机制,以期为临床康复提供一种可靠、简 易的方法。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选择2016年9月—2017年12月在温州医科大 学附属第一医院康复医学科住院治疗的符合研究条 件的脑卒中患者30例为试验组;对照组为30例年 龄、身高、体重相匹配的正常人。本研究通过了患者 及家属的知情同意和医学伦理委员会的授权。

入选标准:①符合1995年第四届全国脑血管学 术会议通过的脑卒中诊断标准^[14];②经颅脑计算机 断层扫描或磁共振成像检查确诊为脑出血或脑梗 死,且为首次发病;③住院成年人患者,一侧肢体瘫 痪;④脑卒中前能独立步行,发病15—90d;⑤下肢 功能Brunnstrom分期3期及以上;⑥生命体征平稳, 心理健康,智力正常,无明显认知功能障碍,简易精神 状态检查(MMSE)评分>24分,可执行一般指令。排 除标准:①病情不稳定;②并发其他影响运动功能的 疾病,伴有严重骨关节及肌肉病变或畸形;③并发严 重心、肝、肾疾病及感染;④发病14d以内;⑤认知功 能障碍:MMSE评分<24分;⑥改良Ashworth量表 (MAS)>II级,不能做关节的最大等长收缩。

2组受试者一般资料见表1,数据组间差异均无显著性意义(P>0.05),具有可比性。

1.2 方法

采用 HITACHI HI VISION Preirus 超声诊断 仪(日本,日立公司),探头为EUP-L74M的高频线阵 探头,频率为5—13MHz,探头宽度5cm,检查类型 2D,检查模式RS,灰阶类型M2,超声检查声功率 100%,扫描深度3—5cm,帧频25—45,动态范围70, 采用软组织肌肉专用检查模式 musculoskeletal,以 获取最佳的肌肉骨骼超声图像。所有操作仪器设置 保持统一。

定量超声测量选取膝关节伸直的情况下踝关节 为0°(解剖中立位)时,测量TA和MG的形态结构参 数,包括羽状角、肌肉厚度及肌纤维长度,测量TA时 受试者取仰卧位,测量MG时受试者取俯卧位,测量 时受试者均穿着踝关节固定支具来保持踝关节0° 的姿势;利用超声技术获取静息下及最大等长收缩

表1 脑卒中患者及正常人一般资料									$(x \pm s)$		
4H 모네	例数	年龄(岁)	性别(例)		自言(am)	休重(ka)	病变性质(例)		<u> </u>	病变侧(例)	
组加			男	女	习同(cm)	1平里(Kg)	梗死	出血	抦住(u)	左	右
试验组	30	61.80 ± 8.35	17	13	164.23±6.14	62.58 ± 7.98	21	9	43.60±29.93	12	18
对照组	30	62.87±9.23	21	9	163.27±6.11	63.13±8.07					

1184 www.rehabi.com.cn

状态下(maximum isometric voluntary contraction, MIVC)时的矢状面超声图像,每种状态均获取三张 超声图像。胫骨前肌测量位置统一取胫骨近端与外 踝之间中点的肌腹处15,腓肠肌内侧头测量位置统 一取胫骨外侧髁和外踝连线中上1/3交点的肌腹 处16,并用笔标记,便于超声探头放置。将探头扫描 长轴垂直置于标记处,并与小腿长轴方向平行,逐渐 水平移动寻找目标肌纤维回声图像,调整图像的深 度以使感兴趣区位于图像的中部,移动聚焦点调整 调整声束的聚焦部位,当声像图显示高回声水平线 的皮肤、筋膜、腱膜,又能清晰显示无数条平行排列 的高回声斜线的纤维脂肪隔将低回声肌束分开,此 为最佳声像图测量切面,冻结声像图。测量TA最 大等长收缩状态时,先嘱患者放松,然后对受试者足 背施加压力,让受试者尽最大力量做踝关节背屈的 动作进行抗阻,并保持抗阻的最大等长收缩态:测量 MG最大等长收缩状态时反之,对受试者足底施加 压力,让受试者尽最大的力量做踝关节跖屈运动进 行抗阻,并保持抗阻的最大等长收缩态,以上试验过 程中踝关节始终保持0°。测量过程中,受试者可适 当休息,防止在疲劳的状态下进行测量;超声探头必 须垂直于皮肤表面,轻轻置于检查部位,通过超声耦 合剂增强超声探头和皮肤表面的传导,充分接触皮 肤,但不压迫软组织,必要时以指关节作支点,使探 头相对固定,确保始终给予探头最小的压力,避免皮 下脂肪和肌肉受压变形影响测量结果。

两组受试者均由同一位有经验的超声医生测量 数据进行评定。全部资料存储于硬盘上备脱机分 析。超声技术测量羽状角、肌肉厚度和肌纤维长度 等肌肉结构参数。每一图像数据均测量3次,取其 平均值进行分析以减小误差。沿肌纤维走向设定长 度和角度,视野外肌纤维按平行四边形模型延长计 算。见图1。

1.3 统计学分析

使用 SPSS22.0 统计软件进行统计学分析。计 量资料采用均数±标准差表示,两组受试者的肌肉 结构参数(静息及最大等长收缩时 TA 和 MG 的羽状 角、肌肉厚度、肌纤维长度)经正态性分析,均适合用 t检验。计数资料进行χ²检验。P<0.05 认为差异有 显著性意义。

图1 踝关节处中立位时在胫骨前肌肌腹测得的 矢状面超声声像图



皮下脂肪层(subcutaneous fat,SF);胫骨前肌浅层羽肌部分(Tibia,,TA₁),胫骨前肌深层羽肌部分(Tibia₂,TA₂);腱膜(aponeurosis,APO), 是胫骨前肌浅层和深层羽肌的分界线;胫骨(Tibia)。无数条平行排 列的高回声斜线为纤维脂肪隔呈羽毛状,将低回声肌束分开。四条 高回声水平线分别表示皮肤、筋膜、腱膜、胫骨。α是羽状角,即肌束 与腱膜间的角度,MT是浅层羽肌的厚度,MT₁是肌纤维近端到筋膜 的距离,MT₂是肌纤维远端到腱膜的距离,FL₁为超声探头可视部分 肌纤维,整个肌纤维长度 FL₂通过平行四边形模拟的公式实现 FL₂= FL₁+MT₁/sinα+MT₂/sina⁽¹⁷⁻¹⁸⁾。

2 结果

脑卒中患者健侧、患侧及正常人TA和MG的形态结构参数见表2和表3。静息状态及最大等长收缩状态下,脑卒中患者患侧TA和MG的羽状角和肌肉厚度均较其健侧和正常人减小(P<0.05)。静息状态及最大等长收缩状态下,脑卒中患者患侧TA和MG的肌纤维长度均较健侧和正常人长(P<0.05)。而静息状态及最大等长收缩状态下,脑卒中患者健侧和正常人TA和MG的形态结构参数无显著性差异(P>0.05)。

3 讨论

本研究应用定量超声测量脑卒中患者及健康人 TA及MG形态结构参数,结果显示在静息及最大等 长收缩状态下患侧的胫骨前肌及腓肠肌内侧头羽状 角均较健侧及正常人减小,患侧的肌肉厚度均较健侧 及正常人减小,患侧的肌纤维长度均较健侧及正常人 长,且肌肉收缩时健侧及正常人的肌纤维长度明显缩 短。在静息及最大等长收缩状态下,健侧和正常人的 羽状角、肌肉厚度、肌纤维长度无明显差异。 表2 脑卒中患者患侧、健侧及正常人的

腔	$(x\pm s)$					
	脑卒中患者	正常人				
	患侧	健侧	(対照组)			
羽状角(°)						
静息	9.51±0.94	$11.36{\pm}1.44^{\odot}$	11.47 ± 1.49^{3}			
最大等长收缩	$10.38 \pm 1.04^{\odot}$	12.29±1.56 ^{@2}	$12.44{\pm}1.40^{\odot3}$			
肌肉厚度(mm)						
静息	$10.12{\pm}1.09$	$11.27 \pm 1.55^{\odot}$	11.31 ± 1.53^{3}			
最大等长收缩	$10.52{\pm}1.06^{\odot}$	11.68±1.58 ^{@2}	11.73±1.64 ⁰³			
肌纤维长度(mm)						
静息	61.90 ± 9.45	57.75 ± 8.16^{2}	$57.32{\pm}6.98^{\odot}$			
最大等长收缩	$59.03{\pm}8.62^{\odot}$	55.36±7.66 ³²	54.78±7.28 ¹⁰³			
①最大等长收缩与静息比较P<0.05;②患侧与健侧比较P<0.05;						
③患侧与正常人比较P<0.05						

表3 脑卒中患者患侧、健侧及正常人的 腓肠肌内侧头肌肉结构参数比较 (x±s)

	脑卒中患者	正常人	
	患侧	健侧	(对照组)
羽状角 (°)			
静息	17.26 ± 2.62	$20.41 \pm 2.84^{\odot}$	20.29 ± 3.38^{3}
最大等长收缩	$20.23\pm3.74^{\odot}$	28.01±5.25 ³²	$28.10 \pm 5.87^{\odot 3}$
肌肉厚度(mm)			
静息	13.11±1.39	14.10±1.43 ²	14.12 ± 2.00^{3}
最大等长收缩	13.58±1.44 [®]	14.77±1.50 ⁽¹⁾⁽²⁾	14.66±1.98 ^{©3}
肌纤维长度(mm)			
静息	45.15 ± 8.23	$40.96{\pm}5.47^{\odot}$	$41.50{\pm}7.26^{3}$
最大等长收缩	$40.26{\pm}6.86^{\odot}$	32.43±6.14 ⁽¹⁾⁽²⁾	$32.26 \pm 7.04^{\odot 3}$
①县十年上版馆日期	為白 レ 応 D 、 0 0	5. ③串柳片碑板	山山広 D < 0.05

①最大等长收缩与静息比较P<0.05;②患侧与健侧比较P<0.05; ③患侧与正常人比较P<0.05

在肌肉生物力学研究领域,各种研究肌肉功能 的方法不断涌现出来,如医学影像、肌动图学、肌电 图学、等速测速仪器等,为定量评估肌肉的功能状态 提供了有力的帮助。但是由于这些设备的一些不足 限制了其在肌肉评估和生物力学领域的广泛应用, 例如,磁共振能量化评价肌肉状况,但是成本太高, 灵活性差,要求受试者静止,仅用于人体静态情况下 的肌肉测量,无法实时观测,比较复杂的研究都无法 开展,比如很难结合其他设备无干扰、同步地测量角 度、力等多个参量。相反,超声具有良好的成像能 力,重复性高,非侵入性,操作方便,价格低廉,在测 量骨骼肌形态结构方面得到了广泛的应用。作为一 种安全无创性检查手段,定量超声能实时提供详细 的解剖结构,并对肌肉骨骼系统的生理及病理的形 态结构变化做出准确的评估,是肌肉骨骼系统疾病 的首选方法。

以前的研究发现慢性脑卒中者患侧的腓肠肌内 侧头的羽状角和肌肉厚度较正常人均减少^[19]。 Metoki应用CT观察脑卒中患者的肌肉形态,发现 患侧肢体肌肉萎缩和肌内脂肪增加[20]。这些都与本 研究超声测量的指标一致,本研究发现脑卒中患者 患侧的TA羽状角减小,可能与肌肉的废用有关;肌 肉厚度减小,提示患侧肌肉的萎缩。脑卒中患者长 时间无主动运动,肌肉缺乏有效收缩和舒张过程,导 致肌肉废用性萎缩。相关的病理显示,脑卒中患者 的骨骼肌中肌肉纤维常伴有细胞外基质的异常聚 积[21]。关于脑卒中后结缔组织和胶原含量的研究也 有相关报道[22-23]。本研究测得的羽状角较刘鹏等[17] 测得的数据大,肌纤维长较其测得的数据小,可能与 其肌肉结构参数是黑白超声图像通过图像处理软件 所得且受试者较少有关,而本研究数据是由同一位 有经验的超声医生测得,也可能与试验时所采取的 踝关节位置不同有关。本研究测得的肌纤维长度与 Yang YB等^[24]结果不同,可能由于病例不同导致,其 研究按照改良 Ashworth 量表(MAS)分级对痉挛肌 肉和非痉挛肌肉进行分组研究,而本研究由于病例 数较少并未对脑卒中患者肌肉状态进行详细分组。

肌纤维长度是最重要的肌肉形态参数,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。当肌肉收缩或体位变化时肌纤维长度随之发生 改变。羽状角与肌纤维长度关系密切。Maganaris 等[25]评估小腿三头肌的腓肠肌内侧头、腓肠肌外侧 头和比目鱼肌当踝关节处于不同角度时的状态变化 时,发现小腿三头肌群的肌纤维长度和羽状角都随 着踝关节角度的改变而变化。当肌肉处于放松和收 缩状态时,肌肉的羽状角和肌纤维长度有一定的变 化。随着肌肉收缩程度的变化肌肉的羽状角和肌纤 维长度也跟着产生相应的变化[20],这与本研究结果 一致。肌肉的等长收缩是使肌肉两端固定,肌肉长 度不变,但肌纤维却变短了,肌肉纤维缩短与肌腱的 弹性特点有关,目前认为最大等长收缩是定量评定 肌肉功能的可靠指标。当肌肉最大等长收缩时,肌 肉形态发生改变,羽状角增大,肌纤维长度缩短。这 符合本研究超声测量指标的结果,在最大等长收缩 状态下,由于健侧及正常人肌肉的收缩力量大,使 TA的肌纤维长度比患侧明显缩短,同时羽状角增 大,MG也同理。以往文献中,超声测量肌肉的过程 中身体姿势没有达成共识,也没有统一的标准。需

要进一步的研究评估身体姿势和肢体位置对肌肉测量的影响。本研究仅选取了膝关节伸直时踝关节中立位(0°)时进行测量,今后可选择膝关节伸直时不同踝关节角度下进行测量,及膝关节在不同角度下配合踝关节不同角度下进行测量。今后将采用表面肌电图来保证测量时患者肌肉处于最大等长收缩,并且扩大样本量。

4 结论

脑卒中后患者 TA 和 MG 的形态结构均发生了 变化,因此,早期加强 TA 及 MG 的训练,能改善其肌 肉肌腱的形态结构,有利于改善患者足下垂症状,提 高下肢运动功能。同时,超声可量化评估脑卒中患 者肌肉结构参数,为脑卒中患者训练后的疗效评价 提供客观依据,有助于康复医学治疗方案的制定。

参考文献

- Wissel J, Manack A, Brainin M. Toward an epidemiology of poststroke spasticity[J]. Neurology, 2013, 80(3):S13—S19.
- [2] Freire B, Dias CP, Goulart NB, et al. Achilles tendon morphology, plantar flexors torque and passive ankle stiffness in spastic hemiparetic stroke survivors[J]. Clin Biomech, 2017, 41(12):72-76.
- [3] Sheffler LR, Chae J. Hemiparetic Gait[J]. Phys Med Rehabil Clin N Am, 2015, 26(4): 611-623.
- [4] Dias CP, Freire B, Goulart NB, et al. Muscle architecture and torque production in stroke survivors:an observational study[J]. Top Stroke Rehabil, 2017, 24(3): 206–213.
- [5] Timmins RG, Shield AJ, Williams MD, et al. Architectural adaptations of muscle to training and injury:a narrative review outlining the contributions by fascicle length, pennation angle and muscle thickness[J]. Br J Sports Med, 2016, 50(23): 881–891.
- [6] Becher JG, Harlaar J, Lankhorst GJ,et al. Measurement of impaired muscle function of the astrocnemius, soleus, and tibialis anterior muscles in spastic hemiplegia: a preliminary study[J]. Rehabil Res Dev, 1998, 35(3): 314–326.
- [7] Ivey FM, Prior SJ, Hafer-Macko CE, et al. Strength training for skeletal muscle endurance after stroke[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2017, 26(4): 787–794.
- [8] Pingel J, Bartels EM, Nielsen JB. New perspectives on the development of muscle contractures following central motor lesions[J]. J Physiol, 2017, 595(4): 1027–1038.
- [9] Chae J, Yang G, Park RK, et al. Muscle weakness and cocontraction in upper limb hemiparesis: relationship to motor impairment and physical disability[J]. Neurorehabil Neural Repair, 2002, 16(3): 241–248.
- [10] Cho KH, Lee HJ, Lee WH. Reliability of rehabilitative ultrasound imaging for the medial gastrocnemius muscle in poststroke patients[J]. Clin Physiol Funct Imaging, 2014, 34

(1): 26-31.

- [11] 杨远滨,张京,冷振鹏,等.抗痉挛治疗前后脑卒中患者超声 肌肉结构参数的比较[J].中国康复理论与实践,2014,20(7): 641-644.
- [12] Le Li, Raymond Kai-yu Tong. Combined ultrasound imaging and biomechanical modeling to estimate triceps brachii musculotendon changes in stroke survivors[J]. Biomed Res Int, 2016, 7 (11): 5275768—5275779.
- [13] Gracies JM. Pathophysiology of spastic paresis.II:Emergence of muscle veractivity[J]. Muscle Nerve, 2005, 31(5): 552-571.
- [14] 全国第四届脑血管病学术会议.脑卒中患者神经功能缺损程 度评分标准[J]. 中华神经内科杂志,1996, 2(2): 381.
- [15] Maganaris CN, Baltzopoulos V. Predictability of in vivo changes in pennation angle of human tibialis anterior muscle from rest to maximum isometric dorsiflexion[J]. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 1999, 79(3): 294–297.
- [16] Ikezoe T,Mori N,Nakamura M,et al. Atrophy of the lower limbs in elderly women:is it related to walking ability[J]. Eur J Appl Physiol, 2011, 111(6): 989–995.
- [17] 刘鹏,王艳君,毛玉瑢,等.脑卒中后胫骨前肌形态结构与肌力 变化的超声评估[J].中国康复医学杂志, 2012, 27(8): 703— 707.
- [18] 朱登纳,安爽,王明梅,等.不同剂量A型肉毒毒素注射缓解脑 性瘫痪患儿腘绳肌痉挛的前瞻性研究[J].中国康复医学杂志, 2018, 33(5): 506—512.
- [19] 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[J]. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 2009, 90(5): 819– 826.
- [20] Metoki N, Sato Y, Satoh K, et al. Muscular atrophy in the hemiplegic thigh in patients after stroke[J]. American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation, 2003, 82 (11): 862-865.
- [21] Lieber RL, Ward SR. Cellular mechanisms of tissue fibrosis. 4. Structural and functional consequences of skeletal muscle fibrosis[J]. American Journal of Physiology Cell Physiology, 2013, 305(3): C241–C252.
- [22] Lopez-Andres N, Rousseau A, Akhtar R, et al. Cardiotrophin 1 is involved in cardiac, vascular, and renal fibrosis and dysfunction[J]. Hypertension, 2012, 60(2): 563-573.
- [23] Leeuwis JW, Nguyen TQ, Theunissen MG, et al. Connective tissue growth factor is associated with a stable atherosclerotic plaque phenotype and is involved in plaque stabilization after stroke[J]. Stroke, 2010, 41(12): 2979–2981.
- [24] Yang YB, Zhang J, Leng ZP, et al. Evaluation of spasticity after stroke by using ultrasound to measure the muscle architecture parameters: a clinical study[J]. Int J Clin Exp Med, 2014, 7(9): 2712–2717.
- [25] Maganaris CN, Baltzopoulos V, Sargeant AJ. In vivo measurements of the triceps surae complex architecture in man: implications for muscle function[J]. The Journal of Physiology, 1998, 512(2): 603—614.
- [26] Reeves ND, Narici MV. Behavior of human muscle fascicles during shortening and lengthening contractions in vivo [J]. Journal of Applied Physiology, 2003, 95(3): 1090– 1096.