

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2019.01.015

· 康复体育与运动康复 ·

## 特定肩关节康复运动对肩外旋肌的激活效应

杨笛, 张驰, 冯鹏鹏, 王洋, 伍盈, 司翔月, 王烁, 钱菁华

北京体育大学运动医学与康复学院, 北京市 100084

通讯作者: 钱菁华. E-mail: jh5727@163.com

基金项目: 中央高校基本科研业务费资助项目(No. 2016YB038)

### 摘要

**目的** 比较开链与闭链运动与肩关节外旋不同组合下, 冈下肌和三角肌后束的激活情况。

**方法** 2018 年 4 至 6 月, 19 例健康成人完成开链肩关节中立位外旋(0°开链组)、开链肩关节外展 90°位外旋(90°开链组)、闭链肩关节中立位外旋(0°闭链组)、闭链肩关节外展 90°位外旋(90°闭链组) 4 个动作, 采用无线表面肌电图(sEMG)获取冈下肌和三角肌后束的振幅均方根(RMS), 计算标准化 RMS (RMS%)、肌肉激活时刻和冈下肌/三角肌后束激活比率。

**结果** 90°闭链组三角肌后束 RMS% 最小, 且低于 0°闭链组( $P < 0.05$ )。冈下肌/三角肌后束激活比率 90°闭链组中最大, 且高于 90°开链组( $P < 0.05$ ), 0°开链组也高于 90°开链组( $P < 0.05$ )。90°闭链组冈下肌激活最早, 且早于 90°开链组( $P < 0.05$ )和 0°开链组( $P < 0.05$ ); 0°闭链组三角肌后束激活最迟, 晚于 90°开链组( $P < 0.05$ )。

**结论** 闭链肩关节外展 90°位外旋动作能最快激活冈下肌, 适合在累及冈下肌肩袖损伤的早期康复中使用。

**关键词** 肩袖损伤; 冈下肌; 三角肌后束; 开链动作; 闭链动作; 表面肌电

### Effect of Various Movements on Shoulder External Rotators

YANG Di, ZHANG Chi, FENG Peng-peng, WANG Yang, WU Ying, SI Xiang-yue, WANG Shuo, QIAN Jing-hua

Department of Sports Medicine and Rehabilitation, Beijing Sport University, Beijing 100084, China

**Correspondence to** QIAN Jing-hua. E-mail: jh5727@163.com

**Supported by** Fundamental Research Funds for the Central Universities (No. 2016YB038)

### Abstract

**Objective** To investigate the activities of infraspinatus (IS) and posterior deltoid (PD) under shoulder external rotation at open kinetic chain (OKC) and closed kinetic chain (CKC) exercise with shoulder abduction 0° and 90° to determine the optimal external rotation rehabilitation exercise.

**Methods** From April to June, 2018, 19 healthy adults finished the movement of 0° OKC, 0° CKC, 90° OKC and 90° CKC. The root mean square (RMS) of IS and PD was recorded with surface electromyography (sEMG), then the standardized RMS (RMS%), ratio of IS/PD and onset time of activation were calculated.

**Results** RMS% of PD was the minimal at 90° CKC, and was less than that of 0° CKC ( $P < 0.05$ ). IS/PD was the most at 90° CKC, and was more than that of 90° OKC ( $P < 0.05$ ). The onset time of IS was the earliest in 90° CKC, and earlier than that of 90° OKC ( $P < 0.05$ ) and 0° OKC ( $P < 0.05$ ). The onset time of PD was the latest in 0° CKC, and latter than that of 90° OKC ( $P < 0.05$ ).

**Conclusion** 90°CKC activates IS mostly and earliest, which can be used in early rehabilitation for rotator cuff injury.

**Key words:** rotator cuff injury; infraspinatus; posterior deltoid; open kinetic chain exercises; closed kinetic chain exercises; surface electromyography

[中图分类号] R493 [文献标识码] A [文章编号] 1006-9771(2019)01-0107-05

[本文著录格式] 杨笛, 张驰, 冯鹏鹏, 等. 特定肩关节康复运动对肩外旋肌的激活效应[J]. 中国康复理论与实践,

作者简介: 杨笛(1995-), 女, 汉族, 内蒙古赤峰市人, 硕士研究生, 主要研究方向: 肌肉骨骼损伤康复。通讯作者: 钱菁华(1975-), 女, 白族, 云南昆明市人, 博士, 副教授, 硕士研究生导师, 主要研究方向: 肩关节损伤及运动康复。

2019,25(1):107-111.

**CITED AS:** YANG Di, ZHANG Chi, FENG Peng-peng, et al. Effect of Various Movements on Shoulder External Rotators[J].Chin J Rehabil Theory Pract,2019,25(1):107-111.

肩袖在肩关节运动时起支持和稳定盂肱关节的作用:肩袖肌肉收缩将肱骨头固定在肩盂中心,并使肩关节以此为中心进行多方位活动,防止三角肌或其他肌肉过强收缩导致肩峰撞击、肱骨头前移等<sup>[1]</sup>。上臂外旋时,冈下肌的力臂最大<sup>[2]</sup>,为肩关节主要外旋肌。肩袖损伤最常累及冈上肌肌腱<sup>[3]</sup>,邻近肌肉也受累<sup>[4-5]</sup>。在肩袖损伤和肩前方不稳等肩部损伤中,在大部分运动范围内,冈下肌活动呈下降趋势,尤以外展外旋时下降明显,而三角肌无异常<sup>[6-7]</sup>,这就打破了肩关节主动稳定系统的平衡。许多以上肢过顶为特点的运动,如棒球、排球、羽毛球等,都易诱发冈下肌损伤<sup>[8-9]</sup>,影响运动表现。

近年来肩关节闭链练习逐渐被应用到康复治疗和运动训练中。早在1998年Kibler<sup>[10]</sup>就提出,在肩关节早期康复加入闭链练习可以避免关节受到剪切力,刺激本体觉和肩袖肌群,同时抑制疼痛和三角肌后束过度激活,提供正确的肩胛骨位置和稳定性;康复后期应用闭链训练也会取得较好结果<sup>[11-12]</sup>。以往研究发现<sup>[13-17]</sup>,冈下肌的激活程度以及激活比率较大的动作主要集中在肩关节0°外展外旋和肩关节90°外展外旋两个动作中,且冈下肌与三角肌后束激活比率的增加最能代表冈下肌激活的针对性。

## 1 对象与方法

### 1.1 研究对象

2018年4至6月,选择北京体育大学肩关节正常、非体育专业的学生共19名。右利手,上肢-肩-手功能障碍问卷(Disabilities of Arm, Shoulder and Hand Outcome Questionnaire, DASH)<sup>[18]</sup>评分平均( $5.79 \pm 4.22$ ),肩关节活动度正常且无肩胛骨动力异常,1年内无肩关节骨折、脱位,严重的肩颈部位损伤或手术史;无脊柱侧弯、脊柱后凸、严重颈椎病、神经损伤;无上肢或颈部神经损伤。其中男性7例,女性12例;平均年龄( $23.42 \pm 4.46$ )岁,平均体质质量指数(body mass index, BMI) ( $23.14 \pm 2.47$ ) kg/m<sup>2</sup>。

本实验已获北京体育大学运动科学实验伦理委员会批准,批准号2018027H;实验前所有受试者均同意参加实验并签订知情同意书。

### 1.2 方法

先使用表面肌电(surface electromyography, sEMG)获取受试者冈下肌和三角肌后束的最大主动等长收缩(maximum voluntary isometric contraction, MVIC)。研究者演示动作后,受试者依次完成0°开链、0°闭链、90°开链和90°闭链运动,同步采集sEMG。

#### 1.2.1 测试动作

90°开链:站立位,肩关节90°外展位,外旋到最大程度<sup>[19]</sup>。0°开链:站立位,上臂中立位,肘屈90°,肩关节外旋到最大<sup>[20]</sup>。90°闭链:站立位,治疗床与手同高,固定手,肩关节外展90°,肘关节屈曲90°,外旋到最大程度<sup>[19]</sup>。0°闭链:肩关节中立位,前臂旋前拇指朝上,手背贴于墙面,手抵墙,肩关节外旋到最大。

#### 1.2.2 sEMG测试

采用DELSYE Trigno Wireless EMG System无线肌电设备,16通道传感器,记录软件EMGworks 4.3 Acquisition。带通滤波频率20~500 Hz。同时使用摄像机同步摄影。

三角肌后束电极放置在肩峰角后两指,方向与肌纤维走向一致;冈下肌电极放置在肩胛冈下方,三角肌后束与斜方肌中束之间,方向与肌纤维走向一致。

受试者充分热身后,完成冈下肌和三角肌后束MVIC测试。三角肌后束MVIC测试时,受试者坐位,肩关节外展90°,肘伸直,手掌向下,上肢用力水平后伸,于上臂近端后方施加阻力;冈下肌MVIC测试时,受试者坐位,上臂贴于体侧,肘关节屈曲90°,肩关节用力外旋,于前臂后方施加阻力,并防止肩关节外展。每块肌肉测试3次,最大等长收缩3 s,休息30 s。两块肌肉测试间休息2 min。

随后,每个测试动作约8 s,动作末停留3 s,休息30 s重复这一动作,共重复3次;休息2 min开始下一动作。休息期不取下电极。同步摄像。

采用DELSYS EMGworks Analysis 4.0对肌电数据进行整理和计算,记录振幅均方根(root mean square, RMS)的标准化值(RMS%)、肌肉激活时刻和激活比率。在50~100 ms时段内,汇总振幅平均值超过基线水平2~3个标准差时,则认为该肌肉被激活,记此时

为激活时刻。激活比例为每个动作下，冈下肌/三角肌后束 RMS% 的比率。

1.3 统计学分析

运用 SPSS 18.0 统计学软件进行数据处理。实验数据以 ( $\bar{x} \pm s$ ) 表示，进行自身对比的单因素方差分析。显著性水平  $\alpha = 0.05$ 。

2 结果

三角肌后束 RMS% 90°闭链最小，0°闭链最大 ( $P < 0.05$ )，其他组间无显著性差异。冈下肌 RMS% 各动作间无显著性差异。激活比率 90°闭链和 0°开链最大，均高于 90°开链 ( $P < 0.05$ )。见表 1。

三角肌后束激活时刻 90°开链最早 ( $P < 0.05$ )；冈下肌激活时刻 90°闭链最早 ( $P < 0.05$ )。见表 2。

表 1 目标肌肉各动作中 RMS% 和激活比率比较

动作	三角肌后束	冈下肌	激活比率
90°开链	0.40±0.40	0.85±0.68	2.76±2.03
90°闭链	0.18±0.20	0.99±1.73	7.64±9.40 <sup>b</sup>
0°开链	0.43±0.69	0.90±0.88	7.59±6.24 <sup>b</sup>
0°闭链	0.53±0.41 <sup>a</sup>	1.29±1.40	3.67±3.57
<i>F</i> 值	2.952	0.446	3.173
<i>P</i> 值	0.039	0.721	0.030

注：a. 与 90°闭链比较,  $P < 0.05$ ; b. 与 90°开链比较,  $P < 0.05$

表 2 目标肌肉各动作激活时刻比较(s)

动作	PD	IS
90°开链	0.52±0.97	1.88±1.00
90°闭链	1.48±1.20 <sup>a</sup>	1.02±1.07 <sup>b</sup>
0°开链	1.60±1.22 <sup>a</sup>	2.10±1.01
0°闭链	1.33±0.91 <sup>c</sup>	1.46±0.99
<i>F</i> 值	3.901	3.987
<i>P</i> 值	0.012	0.011

注：与 90°开链比较, a.  $P < 0.01$ ; c.  $P < 0.05$ ; b. 与 0°开链比较,  $P < 0.01$

3 讨论

在康复治疗 and 体育训练中，选择性练习肩袖肌群，有助于增加肩关节稳定性，预防肩关节损伤。神经肌肉控制差、肌肉激活不平衡，是导致肩关节损伤的常见原因。由于冈下肌在肩关节运动中既参与动态稳定性的保持，又提供肩关节外旋的主要力矩，为临床所重视<sup>[21]</sup>。

本研究显示，90°开链下，冈下肌/三角肌后束激活比率最小，三角肌后束激活最快，冈下肌较晚激活，且此动作对肩关节稳定性要求较高，不是理想的

肩袖损伤康复动作。0°闭链下，冈下肌和三角肌后束都获得最大激活程度，激活时间相近，激活比率不高。90°闭链和 0°开链两种动作都能获得较大激活比率，且 90°闭链下冈下肌激活最快，且先于三角肌后束激活，0°开链下冈下肌和三角肌后束激活最迟。

综合来看，对冈下肌的针对性以 90°闭链最优，其次是 0°开链。如果要抑制三角肌后束过早激活，可以选择 90°闭链；如果仅为激活冈下肌，则可早期选择 90°闭链，中后期选择 0°开链。

肩袖肌群和三角肌的协调对肩关节的稳定十分重要。而肩袖肌群各肌肉也是协调平衡的，肩胛下肌占肩袖力矩的 53%，冈下肌占 22%，冈上肌占 14%，小圆肌约占 10%<sup>[22]</sup>。

三角肌后束主要贡献于肩关节屈曲或伸展超过 90°后的活动<sup>[23]</sup>，也是后伸的有力主动肌；前、中三角肌在关节活动中持续高放电，而后三角肌则低放电，直到末期少许增加<sup>[24]</sup>，以在外旋动作中辅助冈下肌协同收缩。冈下肌是肩关节最有力的外旋肌之一，对上肢预加载后伸和外旋，以利于肩关节运动，如过头投掷和击打。在适量强烈运动的持续或减速阶段，会离心调用冈下肌减慢上肢运动。小圆肌和冈下肌同为肩关节外旋的主动肌，共同使肱骨头向后就位于关节窝内，并可防止肩胛骨喙突撞击，协同冈下肌完成肩部外旋，并对上肢起离心减速作用<sup>[25]</sup>。相较而言，冈下肌的作用更为重要。

Melis 等<sup>[4]</sup>发现，肩袖撕裂涉及冈上肌撕裂占 93.2%，肩胛下肌撕裂 37.5%，冈下肌撕裂 24.4%，小圆肌撕裂(与冈上肌和冈下肌合并损伤) 14.6%。Mall 等<sup>[26]</sup>也发现，肩袖撕裂中冈上肌损伤占 84%，冈下肌损伤占 39%，肩胛下肌损伤占 78%，未提及小圆肌损伤。冈下肌损伤的发生率高于小圆肌。除了肌肉面积差异外，冈下肌较小圆肌止点更靠上<sup>[27]</sup>，从而导致冈下肌在肩袖损伤中更易发生病变<sup>[28]</sup>。

若肩袖撕裂累及冈下肌和肩胛下肌，通常患肢出现上抬障碍；三角肌用力抬上臂时，由于冈下肌的肩胛下肌拮抗作用太弱，不能将肱骨头维持在盂肱关节中心位，肱骨头会向上移位，从而与肩峰接触；若冈下肌激活不足，三角肌后束激活过度成为外旋主导肌，一方面将肱骨头向前推，改变了外旋中心点，尤其在肩关节主动外展的情况下，伴随一些伸展代偿，外旋中心点很难保持稳定；另一方面，三角肌占优势易引起肱骨头向前滑动，撞击关节窝，加重骨、肌腱



和盂唇损伤<sup>[29]</sup>；肱骨头长期向前滑动更会引发慢性肩关节不稳<sup>[30]</sup>。肩部肌肉失衡不仅引发疼痛，而且影响许多力量训练和素质训练，从而影响技术动作<sup>[31]</sup>。

本研究显示，三角肌后束激活程度在90°闭链下最低。这与既往研究相似<sup>[13-14]</sup>。当上臂外展时，三角肌垂直分力减少，拉力方向接近水平，外旋分力减少，对肩关节外旋的贡献较少。而在闭链情况下，上肢远端被固定，力臂较开链缩短，减少三角肌的主动收缩，外展和后伸代偿也因而减少。同时，上肢远端的固定减少肱骨头滑动，使外旋运动中心较稳定，有利于肩关节周围肌肉正常收缩，也减少由于肌力不平衡而导致肩峰撞击的可能。

三角肌后束在0°闭链下的激活程度最大。这与既往研究结果相似<sup>[32-33]</sup>。中立位时，三角肌后束拉力斜向内上方，存在外旋分力；上肢外旋时，三角肌附着点后移<sup>[34]</sup>，三角肌后束较肩关节外展时更容易发力；此外，三角肌是肩关节带中最大的肌肉，覆盖了肱骨近端，三角肌后束几乎从整个肩胛冈发出，覆盖面积很大，所以中立位外旋时激活程度较高；加上中立位闭链外旋前臂所受的阻力较开链大，三角肌后束的激活程度也随之增加。

冈下肌激活程度各动作间无显著性差异。可能由于冈下肌活动较弱，三角肌的激活与否更影响冈下肌的功能；但也可能是样本量不够大。在各组间冈下肌激活程度无显著性差异的情况下，三角肌后束激活程度最小的动作，如外展90°闭链外旋，对冈下肌的康复具有针对性。

冈下肌与三角肌后束的激活比率在0°开链和90°闭链下都较高，后者与此前的研究一致<sup>[16]</sup>。激活比率高，说明冈下肌的贡献大，而三角肌后束并无过度激活。闭链情况下，由于远端被固定，肱骨头的异常位移被限制，冈下肌能以正确势态主导肩关节外旋；肩关节外展，冈下肌被拉长，一方面存储了弹性势能，另一方面也赋予肌肉合适的初长度，收缩时能产生更大力量；此外，在肩关节外展下的外旋动作，更加贴合专项动作和日常动作，有一定的功能性优势，中立位下外旋则限制了功能性活动。

在需要频繁肩关节外旋的运动，如棒球的投掷动作、羽毛球的击球动作、排球发球等过肩挥臂的动作中，针对外旋肌的强化练习非常重要，反复极度外旋，需要外旋肌有力的向心-离心收缩，容易引发外旋肌损伤<sup>[31,35]</sup>；冈下肌在90°闭链下外旋激活比率最

高，可以利用此动作有针对性地强化肩关节主要外旋肌训练。

本研究显示，90°闭链外旋动作中，三角肌后束激活时刻最晚，冈下肌激活最早，也早于三角肌后束。Kim等<sup>[20]</sup>也发现，健康成人肩关节外展时，冈上肌和三角肌后束最先激活，三角肌后束早于冈下肌220~230 ms<sup>[36]</sup>。冈上肌和三角肌后束同为肩关节外展的主要肌肉，在肩关节外展下外旋，三角肌被预激活，激活速度较快；而在闭链条件下，上肢虽然外展但远端被支撑，三角肌活动被弱化，激活程度最小。90°闭链下，冈下肌被预先拉长，有利于较快发力；同时冈下肌又是外旋的主要做功肌肉，激活较早。

在肩关节临床早期康复，通常先采用闭链练习，建立正确的姿势和初步的关节稳定基础，避免出现异常用力或姿势代偿等<sup>[37]</sup>。若过早进行开链训练，易引起其他肌肉代偿收缩，加剧肩关节肌肉紊乱，可能导致肩峰撞击或肌肉拉伤等并发症。循序渐进的治疗过程对于肩周肌肉正确的激活十分重要。

综上所述，肩关节在外展90°闭链外旋动作中，能促使冈下肌更早激活，并抑制三角肌后束的激活；此动作对肩关节，特别是肱骨有支撑，冈下肌激活较早，在损伤初期可减少代偿现象，运动幅度较开链小，更适用于肩袖损伤早期康复；此外，外展外旋对肩关节前关节囊有挤压，有相应损伤时应进行谨慎选择。0°开链外旋动作激活比率也较高，但如果在损伤初期进行开链练习，肌肉失衡会引起撞击等情况，可以应用于肩关节有一定稳定基础的中后期康复。相对来说，闭链外展条件下肩关节外旋练习安全性较高，针对性较强，建议在累及冈下肌的肩关节损伤康复中，选择此动作进行练习。

肩关节外旋肌主要由三角肌后束、冈下肌和小圆肌组成。由于小圆肌位置较深，sEMG难于检测，因而只观察了三角肌后束和冈下肌。未来可加入对拮抗肌、协同肌等共同观察，也应针对肩关节异常者干预研究验证其效果，或对肩关节其他运动方向进行开闭链康复动作对比，全面探讨优化肩关节康复策略。

## 【参考文献】

- [1] 高庆峰,何耀华,王勇平,等. 关节镜下肩袖间隙滑移技术修补巨大回缩型肩袖损伤[J]. 中华创伤骨科杂志, 2013, 15(7): 553-558.
- [2] 朱鸣镝,汤锦波,凌树才,等. 肩关节运动时肌肉力臂改变的实验研究[J]. 中国临床医学, 2007, 14(2): 221-225.
- [3] Sayampanathan A A, Andrew T H. Systematic review on risk factors of

- rotator cuff tears [J]. *J Orthop Surg*, 2017, 25(1): 1-9.
- [4] Melis B, Nemoz C, Walch G. Muscle fatty infiltration in rotator cuff tears: descriptive analysis of 1688 cases [J]. *J Orthop Trauma*, 2009, 95(3): 319-324.
- [5] Frisch K E, Marcu D, Baer G S, et al. The influence of partial and full thickness tears on infraspinatus tendon strain patterns [J]. *J Biomech Eng*, 2014, 136(5): 1-6.
- [6] 毕然然, 崔芳, 王惠芳, 等. 运动性肩袖损伤表面肌电及等速肌力测试研究[J]. *中国运动医学杂志*, 2015, 34(2): 193-196.
- [7] 朱文辉, 王予彬, 郝跃东, 等. 运动员创伤性肩关节前不稳定表面肌电的特征[J]. *体育科研*, 2011, 32(6): 49-54.
- [8] Camp C L, Zajac J M, Pearson D B, et al. Decreased shoulder external rotation and flexion are greater predictors of injury than internal rotation deficits: analysis of 132 pitcher-seasons in professional baseball [J]. *Orthop J Sports Med*, 2017, 33(9): 1629-1636.
- [9] Young S W, Dakic J, Stroia K, et al. High Incidence of infraspinatus muscle atrophy in elite professional female tennis players [J]. *Am J Sports Med*, 2015, 43(8): 1989-1993.
- [10] Kibler W B. Shoulder rehabilitation: principles and practice [J]. *Med Sci Sports Exerc*, 1998, 30(4): 40-50.
- [11] Kang J I, Moon Y J, Choi H, et al. The effect of exercise types for rotator cuff repair patients on activities of shoulder muscles and upper limb disability [J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28: 2772-2777.
- [12] Boeck R L, Döhnert M B, Pavão T S. Open kinetic chain versus closed kinetic chain in advanced rehabilitation rotator cuff [J]. *Fisioter Mov*, 2012, 25(2): 291-299.
- [13] Reinold M M, Wilk K E, Fleisig G S, et al. Electromyographic analysis of the rotator cuff and deltoid musculature during common shoulder external rotation exercises [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2004, 34(7): 385-394.
- [14] Bohlooli N, Ahmadi A, Maroufi N, et al. Differential activation of scapular muscles, during arm elevation, with and without trigger points [J]. *J Bodyw Mov Ther*, 2016, 20(1): 26-34.
- [15] Yu I Y, Lee D K, Kang M J, et al. Effects of three infraspinatus muscle strengthening exercises on isokinetic peak torque and muscle activity [J]. *J Sport Rehabil*, 2017, 10: 1-21.
- [16] Lim O B, Kim J A, Song S J, et al. Effect of selective muscle training using visual EMG biofeedback on infraspinatus and posterior deltoid [J]. *J Hum Kinet*, 2014, 44(1): 83-90.
- [17] Jang J H, Oh J S. Changes in shoulder external rotator muscle activity during shoulder external rotation in various arm positions in the sagittal plane [J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(1): 135-137.
- [18] Gummesson C, Atroshi I, Ekdahl C. The Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand (DASH) outcome questionnaire: longitudinal construct validity and measuring self-rated health change after surgery [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2003, 4(1): 11-16.
- [19] Kang M H, Oh J S, Jang J H. Differences in muscle activities of the infraspinatus and posterior deltoid during shoulder external rotation in open kinetic chain and closed kinetic chain exercises [J]. *J Phys Ther Sci*, 2014, 26(6): 895-897.
- [20] Kim J W, Yoon J Y, Kang M H, et al. Selective activation of the infraspinatus during various shoulder external rotation exercises [J]. *J Phys Ther Sci*, 2012, 24(7): 581-584.
- [21] Lumsdaine W, Smith A, Walker R G, et al. Morphology of the humeral insertion of the supraspinatus and infraspinatus tendons: Application to rotator cuff repair [J]. *Clin Anat*, 2015, 28(6): 767-773.
- [22] Keating J F, Waterworth P, Shawdunn J, et al. The relative strengths of the rotator cuff muscles. A cadaver study [J]. *J Bone Joint Surg Br*, 1993, 75(1): 137-140.
- [23] Kuechle D K, Newman S R, Itoi E, et al. Shoulder muscle moment arms during horizontal flexion and elevation [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 1997, 6(5): 429-439.
- [24] Alpert S W, Pink M M, Jobe F W, et al. Electromyographic analysis of deltoid and rotator cuff function under varying loads and speeds [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2000, 9(1): 47-58.
- [25] Christie K. 功能解剖肌与骨骼的解剖、功能及触诊[M]. 汪华侨, 郭开华, 麦全安, 译. 天津: 天津出版传媒集团, 2013: 76-84.
- [26] Mall N A, Lee A S, Chahal J, et al. An evidenced-based examination of the epidemiology and outcomes of traumatic rotator cuff tears [J]. *Arthroscopy*, 2013, 29(2): 366-376.
- [27] Bacle G, Gregoire J M, Patat F, et al. Anatomy and relations of the infraspinatus and the teres minor muscles: a fresh cadaver dissection study [J]. *Surg Radiol Anat*, 2016, 39(2): 1-8.
- [28] Challoumas D, Dimitrakakis G. Insights into the epidemiology, aetiology and associations of infraspinatus atrophy in overhead athletes: a systematic review [J]. *Sports Biomech*, 2017, 16(3): 325-341.
- [29] Jobe F W, Pink M. The athlete's shoulder [J]. *J Hand Ther*, 1994, 7: 107-110.
- [30] Sahrmann S. Diagnosis and treatment of movement impairment syndromes [J]. *J Orthop Sports Phys Ther*, 2005, 3(5): 295-297.
- [31] 宋为平, 曾磊, 李全意. 优秀排球运动员冈下肌萎缩症 23 例临床报道 [J]. *中国运动医学杂志*, 2015, 34(12): 1208-1210.
- [32] Ha S M, Kwon O Y, Cynn H S, et al. Selective activation of the infraspinatus muscle [J]. *J Athl Train*, 2013, 48(3): 346-352.
- [33] Lee D, Lee S, Han S. Changes in the electromyographic activities of the infraspinatus and posterior deltoid according to abduction angles of the shoulder joint during shoulder external rotation in closed kinetic chain exercise [J]. *J Phys Ther Sci*, 2016, 28(10): 2748-2750.
- [34] Giacomo G D, Pouliart N, Vita A D, et al. 肩关节功能解剖图谱[M]. 柴益民, 顾文奇, 译. 北京: 北京大学出版社有限公司, 2016: 62-64.
- [35] 张红娟, 王明明, 段惠芳. 本体感觉神经肌肉促进法结合针刺治疗冈下肌劳损疗效观察[J]. *中国运动医学杂志*, 2016, 35(4): 357-358.
- [36] Kim T Y, Kim M, Yoon B C. The onset time of neck and shoulder muscles activation during shoulder elevation in older and young adults [J]. *Arch Orthop sports Phys Ther*, 2017, 13(1): 27-36.
- [37] Kibler W B, McMullen J, Uhl T. Shoulder rehabilitation strategies, guidelines, and practice [J]. *Oper Tech Sports Med*, 2012, 20(1): 103-112.

(收稿日期: 2018-10-10 修回日期: 2018-11-29)