

肩袖损伤患者肩关键角对三角肌肌力下降的影响研究



王志凌, 崔德栋, 龙毅, 孟轲, 郑镇泽, 李成, 杨睿, 侯景义

中山大学孙逸仙纪念医院运动医学科(广州 510120)

【摘要】 目的 探讨肩袖损伤(rotator cuff tear, RCT)患者三角肌与肩袖肌群的协同作用,以及肩关键角(critical shoulder angle, CSA)对肩袖三角肌肌力的影响。方法 回顾分析 2022 年 3 月—2023 年 3 月收治且符合选择标准的 42 例 RCT 患者临床资料。男 13 例,女 29 例;年龄 42~77 岁,平均 60.5 岁。术前疼痛视觉模拟评分(VAS)为(6.0±1.6)分。于术前标准正位 X 线片上测量 CSA,根据所测 CSA 大小将患者分为 CSA>35°组(A 组)和 CSA≤35°组(B 组)。使用手持测力计测量患者肩部各肌群(包括冈上肌、冈下肌、肩胛下肌以及三角肌前、中、后束)肌力,记录并比较健侧与患侧肌力并计算肌力失衡指数,比较男性与女性、优势侧与非优势侧及 A、B 组间各肌群肌力失衡指数。使用 Pearson 相关分析各肌群肌力失衡指数与 CSA 及 VAS 评分的相关性。结果 患者患侧各肌群肌力均显著低于健侧($P<0.05$)。冈上肌、肩胛下肌、冈下肌及三角肌前、中、后束肌力失衡指数分别为 14.8%±24.4%、5.9%±9.7%、7.2% (0, 9.1%)、17.2% (5.9%, 26.9%)、8.3%±21.3%、10.2% (2.8%, 15.4%)。男性患者三角肌前束、冈上肌及冈下肌肌力失衡指数显著低于女性患者($P<0.05$);男女性患者间其他肌群肌力失衡指数以及优势侧与非优势侧间所有肌群肌力失衡指数比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。患者冈下肌肌力失衡指数与 VAS 评分成正相关($P<0.05$),CSA 与三角肌中束肌力失衡指数成正相关($P<0.05$);其余肌群肌力失衡指数与 VAS 评分和 CSA 均无相关性($P>0.05$)。术前 CSA 为 17.6°~39.4°,平均 31.1°;其中 A 组 9 例、B 组 33 例。A 组三角肌前束肌力失衡指数显著小于 B 组($P<0.05$),A、B 组间其余肌群肌力失衡指数比较差异无统计学意义($P>0.05$)。结论 RCT 存在三角肌肌力下降现象,在 CSA 更大人群中更为明显。

【关键词】 肩袖损伤;手持测力计;肩关键角;三角肌;肩关节

Effect of critical shoulder angle on deltoid muscle strength reduction in patients with rotator cuff tears

WANG Zhiling, CUI Dedong, LONG Yi, MENG Ke, ZHENG Zhenze, LI Cheng, YANG Rui, HOU Jingyi

Department of Orthopaedic Surgery, Sun Yat-sen Memorial Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou Guangdong, 510120, P. R. China

Corresponding authors: YANG Rui, Email: yangr@mail.sysu.edu.cn; HOU Jingyi, Email: houjy7@mail.sysu.edu.cn

【Abstract】 Objective To investigate the synergistic interaction between the deltoid muscle and the rotator cuff muscle group in patients with rotator cuff tears (RCT), as well as the impact of the critical shoulder angle (CSA) on deltoid muscle strength. **Methods** A retrospective analysis was conducted on clinical data from 42 RCT patients who met the selection criteria and were treated between March 2022 and March 2023. There were 13 males and 29 females, with an age range of 42-77 years (mean, 60.5 years). Preoperative visual analogue scale (VAS) score was 6.0±1.6. CSA measurements were obtained from standard anteroposterior X-ray films before operation, and patients were divided into two groups based on CSA measurements: CSA>35° group (group A) and CSA≤35° group (group B). Handheld dynamometry was used to measure the muscle strength of various muscle group in the shoulder (including the supraspinatus, infraspinatus, subscapularis, and anterior, middle, and posterior bundles of the deltoid). The muscle strength of the unaffected side was compared to the affected side, and muscle imbalance indices were calculated. Muscle imbalance indices between male and female patients, dominant and non-dominant sides, and groups A and B were compared. Pearson correlation analysis was used to examine the relationship between muscle imbalance indices and CSA as well as VAS scores. **Results** Muscle strength in all muscle groups on the affected side was significantly lower than on the unaffected side ($P<0.05$). The muscle

DOI: 10.7507/1002-1892.202303064

基金项目: 中山大学 5010 临床项目基金 (2020004)

通信作者: 杨睿, Email: yangr@mail.sysu.edu.cn; 侯景义, Email: houjy7@mail.sysu.edu.cn

imbalance indices for the supraspinatus, subscapularis, infraspinatus, and anterior, middle, and posterior bundles of the deltoid were $14.8\% \pm 24.4\%$, $5.9\% \pm 9.7\%$, 7.2% (0, 9.1%), 17.2% (5.9%, 26.9%), $8.3\% \pm 21.3\%$, and 10.2% (2.8%, 15.4%), respectively. The muscle imbalance indices of the anterior bundle of the deltoid, supraspinatus, and infraspinatus were significantly lower in male patients compared to female patients ($P < 0.05$); however, there was no significant difference in muscle imbalance indices among other muscle groups between male and female patients or between the dominant and non-dominant sides ($P > 0.05$). There was a positive correlation between the muscle imbalance indices of infraspinatus and VAS score ($P < 0.05$), and a positive correlation between CSA and the muscle imbalance indices of middle bundle of deltoid ($P < 0.05$). There was no correlation between the muscle imbalance indices of other muscle groups and VAS score or CSA ($P > 0.05$). Preoperative CSA ranged from 17.6° to 39.4° , with a mean of 31.1° . There were 9 cases in group A and 33 cases in group B. The muscle imbalance indices of the anterior bundle of the deltoid was significantly lower in group A compared to group B ($P < 0.05$), while there was no significant difference in muscle imbalance indices among other muscle groups between group A and group B ($P > 0.05$). **Conclusion** Patients with RCT have a phenomenon of deltoid muscle strength reduction, which is more pronounced in the population with a larger CSA.

【Key words】 Rotator cuff tear; handheld dynamometer; critical shoulder angle; deltoid muscle; shoulder

Foundation item: Sun Yat-Sen University Clinical Research 5010 Program (2020004)

肩袖损伤 (rotator cuff tear, RCT) 是一种常见疾病, 主要表现为疼痛和肩关节活动度下降, 严重影响患者的运动功能和生活质量^[1]。肩关节镜手术作为一种常用治疗手段仍然存在一些问题, 如术后肩袖再撕裂率高等, 尤其在肩关键角 (critical shoulder angle, CSA) $> 35^\circ$ 的患者中表现更明显^[2]。临床上常用的肌力评估方法包括等长肌力测试和等速肌力测试。徒手肌力测试属于等长肌力测试, 虽然在评定 RCT 等疾病中广泛应用, 但其主观性较强, 无法对患者肌力进行定量评估。目前在临床上, 等速肌力评定被认为是肌力评估的“金标准”。然而, 这种方法需要使用昂贵的等速肌力测定仪器, 而且仪器较大, 需要患者进行转移。相比之下, 手持测力计评定更为便捷, 许多国外研究也发现手持测力计有很好的信度^[3]。该测力计体积小、操作简便, 可以提供量化肌力数据, 但国内应用并不广泛。本研究使用手持测力计测量 RCT 患者肩部各肌群、尤其是三角肌的肌力, 探究 CSA 对三角肌发力方式的影响, 以期明确 CSA 偏大人群更易发生 RCT 以及术后再撕裂率更高的原因。报告如下。

1 资料与方法

1.1 研究对象

患者纳入标准: ① 关节镜下证实 RCT; ② 单侧 RCT, 健侧无肩痛史。排除标准: ① 合并其他肩部疾病, 如肩部骨折、肩部脱位、肩关节感染等病史; ② 既往有肩关节手术史; ③ 合并有神经系统疾病, 如脑卒中、颈椎病; ④ 既往有风湿免疫性疾病史; ⑤ 肩关节被动活动受限。

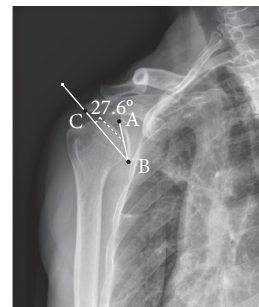


图1 术前正位 X 线片上 CSA 测量方法 A: 关节盂上缘 B: 关节盂下缘 C: 肩峰外侧缘

Fig.1 CSA measuring on preoperative anteroposterior X-ray film A: Superior border of the glenoid B: Inferior border of the glenoid C: Inferolateral border of the acromion

2022 年 3 月—2023 年 3 月共 42 例 RCT 患者符合选择标准纳入研究。其中男 13 例, 女 29 例; 年龄 42 ~ 77 岁, 平均 60.5 岁。左侧 2 例, 右侧 40 例。术前疼痛视觉模拟评分 (VAS) 为 (6.0 ± 1.6) 分。

1.2 研究方法

1.2.1 CSA 测量 参照 Moor 等^[4]的研究方法, 于术前标准正位 X 线片上测量 CSA, 即关节盂上、下缘连线与关节盂下缘和肩峰最外侧缘连线之间的夹角。见图 1。由 3 名运动医学科医师评估, 取均值。根据所测 CSA 大小将患者分为 CSA $> 35^\circ$ ^[4] 组 (A 组) 和 CSA $\leq 35^\circ$ 组 (B 组)。

1.2.2 肌力测量 术前由 3 名运动医学科医师使用 MicroFET 3 手持测力计 (Hoggan Health Industries 公司, 美国) 测量患者双侧肩部各肌群 (包括冈上肌、冈下肌、肩胛下肌以及三角肌前、中、后束) 的肌力。患者进行标准化热身运动后取平卧位, 每个动作测量 3 次, 间隔 20 ~ 30 s, 取均

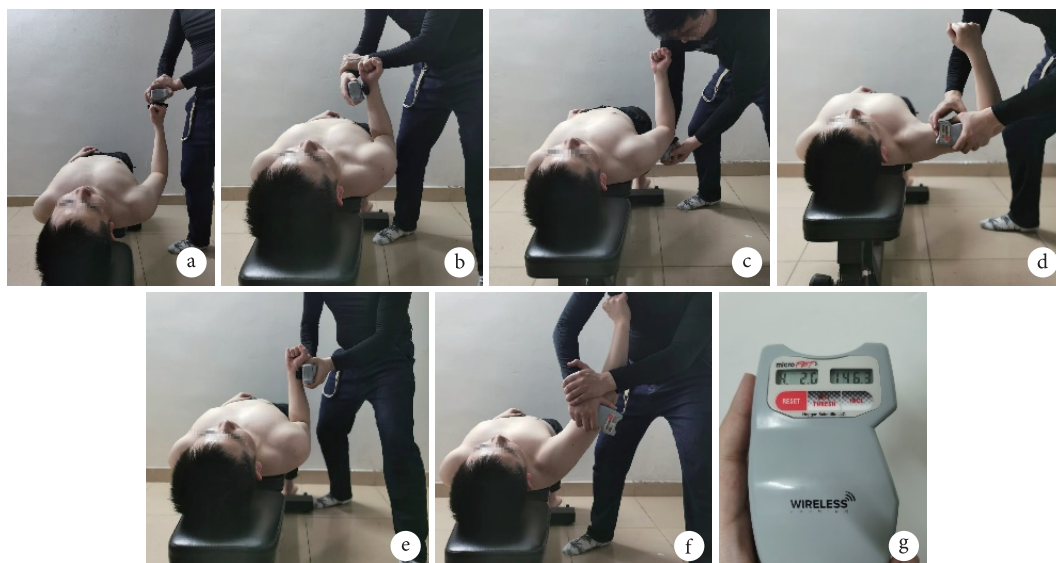


图2 手持测力计测量肩关节肌力示意图 a. 冈上肌; b. 肩胛下肌; c. 冈下肌; d. 三角肌前束; e. 三角肌中束; f. 三角肌后束; g. 测力计读数

Fig.2 Schematic diagram of shoulder muscle strength measured by handheld dynamometer a. Supraspinatus; b. Subscapularis; c. Infraspinatus; d. Anterior bundle of deltoid; e. Middle bundle of deltoid; f. Posterior bundle of deltoid; g. Dynamometer reading

值。测量过程中为避免其他部位肌力代偿,需对每个肌肉的测量方法进行标准化,取其最大自主等长收缩^[4-5]。例如,测量冈上肌肌力时,要求患者前臂前屈使大拇指朝下,肩关节前屈 90° ,水平外展 30° ;测量肩胛下肌及冈下肌时,嘱患者屈肘 90° ,前臂取中立位,肘关节贴紧胸壁,测力计弧形压力头置于前臂下 $1/3$ 外侧或内侧,同时嘱患者尽量避免躯干力量代偿;测量三角肌前束时,嘱患者屈肘至 90° ,肱骨外展 10° ,掌心朝上握拳,并提供最大力量来抵抗手动阻力;测量三角肌中束时,嘱患者屈肘至 90° ,并最大限度外展弯曲手臂以抵抗手动阻力;测量三角肌后束时,嘱患者在肱骨轻微内旋并后伸同时外展肩部,以抵抗手动阻力。见图2。

为了控制患者学习发力过程的影响,随机测试左右侧和不同肌群。最终按照以下公式计算肌力失衡指数来表示每一肌群受RCT的影响,公式:肌力失衡指数=(健侧肌力-患侧肌力)/(健侧肌力+患侧肌力) $\times 100\%$ ^[5]。记录并比较健侧与患侧肌力以及男性与女性、优势侧与非优势侧及A、B组间各肌群肌力失衡指数。

1.3 统计学方法

采用SPSS25.0统计软件进行分析。计量资料采用Kolmogorov-Smirnov检验、Shapiro-Wilk检验、P-P图、Q-Q图及直方图进行正态性检验,符合正态分布或近似正态分布的数据以均数 \pm 标准差表示,组间比较采用独立样本 t 检验或配对 t 检验;不符合正态分布的数据以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,组间比

较采用Mann-Whitney U秩和检验。使用Pearson相关分析各肌群肌力失衡指数与CSA及VAS评分的相关性。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

本组患者患侧各肌群肌力均显著低于健侧,差异有统计学意义($P<0.05$)。冈上肌、肩胛下肌、冈下肌及三角肌前、中、后束肌力失衡指数分别为 $14.8\% \pm 24.4\%$ 、 $5.9\% \pm 9.7\%$ 、 7.2% ($0, 9.1\%$)、 17.2% ($5.9\%, 26.9\%$)、 $8.3\% \pm 21.3\%$ 、 10.2% ($2.8\%, 15.4\%$)。男性患者三角肌前束、冈上肌及冈下肌肌力失衡指数显著低于女性患者,差异有统计学意义($P<0.05$);男、女性患者间其他肌群肌力失衡指数以及优势侧与非优势侧间所有肌群肌力失衡指数比较差异均无统计学意义($P>0.05$)。本组患者冈下肌肌力失衡指数与VAS评分成正相关($P<0.05$),CSA与三角肌中束肌力失衡指数成正相关($P<0.05$);其余肌群肌力失衡指数与VAS评分和CSA均无相关性($P>0.05$)。术前CSA为 $17.6^{\circ} \sim 39.4^{\circ}$,平均 31.1° ;其中A组9例、B组33例。A组三角肌前束肌力失衡指数小于B组,差异有统计学意义($P<0.05$),A、B组间其余肌群肌力失衡指数比较差异无统计学意义($P>0.05$)。见表1~5。

3 讨论

本研究使用手持测力计测得患者健侧肌群肌力与文献报道相近,说明采用手持测力计测量相同

表 1 患者健、患侧各肌群肌力比较 (n=42, $\bar{x}\pm s$, N)

Tab.1 Comparison of the strength of each muscle group on the unaffected side and affected side measured by a handheld dynamometer (n=42, $\bar{x}\pm s$, N)

侧别 Side	冈上肌 Supraspinatus	肩胛下肌 Subscapularis	冈下肌 Infraspinatus	三角肌前束 Anterior bundle of deltoid	三角肌中束 Middle bundle of deltoid	三角肌后束 Posterior bundle of deltoid
健侧 Unaffected side	88.4±35.0	83.2±25.1	73.9±21.7	115.2±35.5	118.8±42.5	122.2±39.1
患侧 Affected side	67.9±37.5	74.4±26.0	64.2±26.8	85.1±40.4	102.3±45.9	99.4±32.3
统计量 Statistical value	t=4.447	t=3.978	t=2.125	t=6.980	t=2.314	t=5.616
P 值 P value	<0.001	<0.001	0.040	<0.001	0.026	<0.001

表 2 男女性患者各肌群肌力失衡指数比较 ($\bar{x}\pm s$, %)

Tab.2 Comparison of muscle imbalance indices of different muscle groups between males and females ($\bar{x}\pm s$, %)

性别 Gender	例数 n	冈上肌 Supraspinatus	肩胛下肌 Subscapularis	冈下肌 Infraspinatus	三角肌前束 Anterior bundle of deltoid	三角肌中束 Middle bundle of deltoid	三角肌后束 Posterior bundle of deltoid
男 Male	13	1.2±24.9	3.2±9.6	-3.8±21.5	7.1±14.9	4.9±16.7	13.2±18.0
女 Female	29	20.9±22.0	7.2±9.7	12.2±15.5	21.8±15.9	9.9±23.2	8.9±9.7
统计量 Statistical value		t=-2.581	t=-1.232	t=-2.744	t=-2.817	t=-0.693	t=0.993
P 值 P value		0.014	0.225	0.009	0.007	0.492	0.327

表 3 患者优势侧与非优势侧各肌群肌力失衡指数比较 (%)

Tab.3 Comparison of muscle imbalance indices of different muscle groups between dominate side and non-dominate side (%)

侧别 Side	例数 n	冈上肌 Supraspinatus	肩胛下肌 Subscapularis	冈下肌 Infraspinatus	三角肌前束 Anterior bundle of deltoid	三角肌中束 Middle bundle of deltoid	三角肌后束 Posterior bundle of deltoid
优势侧 Dominant side	32	12.1±22.9	5.1 (-2.5, 8.1)	6.8 (0.0, 21.9)	16.3±17.6	6.7±20.1	9.6±14.2
非优势侧 Non-dominant side	10	22.3±28.2	8.6 (4.6, 14.5)	8.8 (-0.6, 13.7)	19.6±15.5	12.7±24.9	11.7±0.8
统计量 Statistical value		t=-1.192	t=-1.041	t=-0.329	t=-0.527	t=-0.780	t=-0.460
P 值 P value		0.241	0.304	0.744	0.601	0.442	0.243

表 4 各肌群肌力失衡指数与 CSA 和 VAS 评分的相关性

Tab.4 Correlation between muscle imbalance indices of each muscle group and CSA and VAS scores

指标 Index	冈上肌 Supraspinatus	肩胛下肌 Subscapularis	冈下肌 Infraspinatus	三角肌前束 Anterior bundle of deltoid	三角肌中束 Middle bundle of deltoid	三角肌后束 Posterior bundle of deltoid
CSA	r=-0.016 P=0.921	r=0.162 P=0.304	r=-0.209 P=0.185	r=-0.287 P=0.065	r=0.391 P=0.010	r=-0.014 P=0.932
VAS 评分 VAS score	r=-0.202 P=0.200	r=-0.168 P=0.288	r=-0.340 P=0.027	r=-0.203 P=0.197	r=-0.213 P=0.175	r=0.027 P=0.867

肌群肌力具有良好一致性^[6]。然而,手持测力计在临床应用中存在许多不足之处,例如测量时会测试部位造成一定疼痛,而且测量下肢肌力时需要

测试者具备较高肌力水平。目前,临床上采用了一些方法来解决这些问题,例如使用配套固定装置以减少徒手测量时的“天花板”效应。

表 5 不同 CSA 亚组各肌群肌力失衡指数比较 ($\bar{x}\pm s$, %)Tab.5 Comparison of muscle imbalance indices of different muscle groups between subgroups of CSA ($\bar{x}\pm s$, %)

组别 Group	例数 <i>n</i>	冈上肌 Supraspinatus	肩胛下肌 Subscapularis	冈下肌 Infraspinatus	三角肌前束 Anterior bundle of deltoid	三角肌中束 Middle bundle of deltoid	三角肌后束 Posterior bundle of deltoid
A	9	9.9±28.3	5.4±16.4	2.6±9.1	5.5±10.5	16.3±17.7	6.6±8.3
B	33	16.1±23.7	7.8±19.8	7.0±9.8	20.4±17.0	6.1±21.9	11.2±13.8
统计量 Statistical value		<i>t</i> =-0.676	<i>t</i> =-1.180	<i>t</i> =-0.338	<i>t</i> =-2.494	<i>t</i> =1.267	<i>t</i> =-0.986
<i>P</i> 值 <i>P</i> value		0.503	0.737	0.245	0.017	0.213	0.336

肩关节中,三角肌力臂与旋转中心扮演了十分重要的角色,在反肩关节置换相关研究中提及颇多^[7]。对于 RCT 患者,肩袖质量下降后不足以对抗三角肌垂直向上的拉应力,为了维持旋转中心稳定,应相应减弱三角肌肌力。在 CSA 更大人群中,由于三角肌发力的力臂更长^[7],因此所需三角肌肌力更小^[8];但由于三角肌肌力远超仅仅抬臂时所需的肌力,这类人群的抬臂加速度更容易高于常人,导致大结节更容易撞击肩峰,同时冈上肌为了维持肱骨头处于原位所承受的负荷更大,两者相加导致此类人群更容易发生 RCT。另一方面,三角肌肌力下降也有效防止了冈上肌肌腱进一步撕裂,提示在为 CSA 更大患者行肩袖修补术时,应减少三角肌激活水平,利用肩峰成形术等方法可以有效降低肩袖术后再撕裂率。

此外,本研究还发现,冈上肌、冈下肌及三角肌前束肌力失衡在不同性别间有明显差异,男性肌力失衡指数显著低于女性,提示女性患者肩部功能受 RCT 影响更为显著。此前已有研究显示^[9-10]在 RCT 中,不同性别可以表现出不同的 RNA 转录序列,提示 RCT 在性别间的病理机制可能不同。由于本次研究中女性比男性多,因此应考虑到两种性别受生活方式、激素水平不同导致三角肌激活不同^[11]。

根据 Yamamoto 等^[12]的 RCT 流行病学研究,RCT 更高发于患者的优势侧(*OR*=1.66),尤其是 49 岁以下人群。在患有 RCT 时,优势侧肌力比对侧明显下降,提示三角肌受其影响不可忽视,三角肌肌力下降可能同时受内在因素及外在因素影响。受伤后患者行为模式的改变,比如减少患侧肩部活动、使用其他肌肉代偿肩部发力等,有可能造成患侧三角肌废用性退变,减少肱骨头所受垂直向上的应力,避免残余肩袖组织进一步撕裂。

在本研究中,三角肌中束的肌力下降与 CSA 成显著正相关,可能与此类人群三角肌发力效率更高^[7]有关,损伤后肩袖与以中束为主体的三角

肌形成了新的平衡。而 CSA>35° 患者三角肌前束肌力下降更少,可能与患者的肩峰形态有一定关系。对此,既往在二维平面上测量得到的 CSA 可能有局限,需要在三维空间中重新寻找准确描述肩峰外缘及三角肌起点的影像学数据。患者的疼痛程度(VAS 评分)与各肌群肌力(冈下肌除外)并无显著相关性,提示肩关节疼痛程度对肌力并无直接作用。既往已有研究者提出增加肌群力量可以缓解肩袖相关疼痛^[13],力量训练一直是治疗肩痛的一线疗法。

综上所述,RCT 存在三角肌肌力下降现象,在 CSA 更大人群中更为明显。但本研究局限性在于,在外展动作中三角肌中束与冈上肌有协同作用^[14],更难区分患者进行不同角度外展动作时,力量减弱是由于冈上肌肌力减弱还是三角肌中束肌力减弱导致,同时更容易受损伤的冈上肌疼痛影响。但三角肌前束在做屈肘前屈动作时和肩袖并无协同作用^[14],肌力测量更具有可靠性。进一步关于三角肌废用性退变的研究,还需要诸如超声波弹性模量^[15]等手段的验证。后续研究中需要注意:①测量过程中,医师需向患者解释研究目的和注意事项,以确保测量结果的准确性和可靠性^[16];②因影像学质量被证明是异质性的来源之一,所以高质量研究应该只包括具有足够影像学质量的病例,并在研究方法中包含关于影像学质量评估的全面解释^[17-18]。

利益冲突 在课题研究和文章撰写过程中不存在利益冲突;经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道

伦理声明 研究方案经中山大学孙逸仙纪念医院医学实验伦理委员会批准(SYSKY-2023-154-01)

作者贡献声明 王志凌:研究设计及实施、数据收集整理及统计分析、文章撰写;崔德栋、龙毅:研究设计;孟轲、郑镇泽、李成:研究实施;杨睿:文章审阅、经费支持;侯景义:文章审阅

参考文献

- 1 Doiron-Cadrin P, Lafrance S, Saulnier M, *et al.* Shoulder rotator cuff disorders: a systematic review of clinical practice guidelines and semantic analyses of recommendations. *Arch Phys Med Rehabil*, 2020, 101(7): 1233-1242.
- 2 Liu T, Zhang M, Yang Z, *et al.* Does the critical shoulder angle influence retear and functional outcome after arthroscopic rotator cuff repair? A systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2023, 143(5): 2653-2663.
- 3 Chamorro C, Arancibia M, Trigo B, *et al.* Absolute reliability and concurrent validity of hand-held dynamometry in shoulder rotator strength assessment: systematic review and meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(17): 9293. doi: 10.3390/ijerph18179293.
- 4 Moor BK, Bouaicha S, Rothenfluh DA, *et al.* Is there an association between the individual anatomy of the scapula and the development of rotator cuff tears or osteoarthritis of the glenohumeral joint?: A radiological study of the critical shoulder angle. *Bone Joint J*, 2013, 95-B(7): 935-941.
- 5 Croisier JL, Ganteaume S, Binet J, *et al.* Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*, 2008, 36(8): 1469-1475.
- 6 Andrews AW, Thomas MW, Bohannon RW. Normative values for isometric muscle force measurements obtained with hand-held dynamometers. *Phys Ther*, 1996, 76(3): 248-259.
- 7 Boileau P, Watkinson DJ, Hatzidakis AM, *et al.* Grammont reverse prosthesis: design, rationale, and biomechanics. *J Shoulder Elbow Surg*, 2005, 14(1 Suppl S): 147S-161S.
- 8 Villatte G, van der Kruk E, Bhuta AI, *et al.* A biomechanical confirmation of the relationship between critical shoulder angle (CSA) and articular joint loading. *J Shoulder Elbow Surg*, 2020, 29(10): 1967-1973.
- 9 Rai MF, Cai L, Tycksen ED, *et al.* RNA-Seq reveals distinct transcriptomic differences in rotator cuff tendon based on tear etiology and patient sex. *J Orthop Res*, 2022, 40(12): 2728-2742.
- 10 Longo UG, Berton A, Papapietro N, *et al.* Epidemiology, genetics and biological factors of rotator cuff tears. *Med Sport Sci*, 2012, 57: 1-9.
- 11 Wagner KC, Byrd GD. Evaluating the effectiveness of clinical medical librarian programs: a systematic review of the literature. *J Med Libr Assoc* 92(1) January 2004. *J Med Libr Assoc*, 2012, 100(4 Suppl): J.
- 12 Yamamoto A, Takagishi K, Osawa T, *et al.* Prevalence and risk factors of a rotator cuff tear in the general population. *J Shoulder Elbow Surg*, 2010, 19(1): 116-120.
- 13 Powell JK, Lewis JS. Rotator cuff-related shoulder pain: Is it time to reframe the advice, "you need to strengthen your shoulder"? *J Orthop Sports Phys Ther*, 2021, 51(4): 156-158.
- 14 Hecker A, Aguirre J, Eichenberger U, *et al.* Deltoid muscle contribution to shoulder flexion and abduction strength: an experimental approach. *J Shoulder Elbow Surg*, 2021, 30(2): e60-e68.
- 15 Schmalzl J, Fenwick A, Boehm D, *et al.* The application of ultrasound elastography in the shoulder. *J Shoulder Elbow Surg*, 2017, 26(12): 2236-2246.
- 16 Cools AM, Vanderstukken F, Vereecken F, *et al.* Eccentric and isometric shoulder rotator cuff strength testing using a hand-held dynamometer: reference values for overhead athletes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(12): 3838-3847.
- 17 Suter T, Gerber Popp A, Zhang Y, *et al.* The influence of radiographic viewing perspective and demographics on the critical shoulder angle. *J Shoulder Elbow Surg*, 2015, 24(6): e149-e158.
- 18 Olmos MI, Boutsiadis A, Swan J, *et al.* Lateral acromioplasty cannot sufficiently reduce the critical shoulder angle if preoperatively measured over 40 degrees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2021, 29(1): 240-249.

收稿日期: 2023-03-14 修回日期: 2023-06-02

本文编辑: 王雁