

肩袖损伤的运动学特征及运动治疗研究进展

吴敏怡,李道媛,温天杉,尚梦珍,徐子怡,黄颖,温优良

(赣南医科大学康复学院,江西 赣州 341000)

摘要:肩袖损伤(Rotator cuff tear, RCT)是肩关节常见疾病,以疼痛和运动功能障碍为主要表现,严重影响患者生活质量。尽管临床治疗手段多样,但疗效不一,且缺乏基于运动学特征的系统分析以指导运动治疗。临床研究表明,运动治疗联合其他治疗手段可以通过改善关节活动度、恢复肩肱节律正常化、增强肩关节稳定性及优化肌肉活动模式,达到康复治疗RCT的目的。鉴于运动学分析是制定康复治疗的基本策略,本文综述了近年来国内外关于RCT运动学特征及相应运动治疗的研究进展。文献复习结果表明,RCT患者存在显著的异常运动学特征,包括肩关节活动范围受限、肩肱节律比例异常、肩关节稳定性降低及肌肉激活模式异常。

关键词:肩袖损伤;运动学特征;运动治疗;肩肱节律

中图分类号:R493 文献标志码:A 文章编号:2097-7174(2026)01-0061-07

DOI:10.3969/j.issn.2097-7174.2026.01.010

Kinematic characteristics of rotator cuff injury and the progress of exercise treatment

WU Minyi, LI Daoyuan, WEN Tianshan, SHANG Mengzhen, XU Ziyi, HUANG Ying, WEN Youliang

(School of Rehabilitation, Gannan Medical University, Ganzhou, Jiangxi 341000)

Abstract: Rotator cuff tear (RCT) is a common disorder of the shoulder joint, characterized by pain and motor dysfunction, which seriously affects patients' quality of life. Despite the variety of clinical treatments, the efficacy is variable. There is a relative lack of systematic analysis based on kinematic characteristics to guide exercise therapy. Clinical studies have shown that exercise therapy combined with other therapeutic means can achieve the purpose of rehabilitating RCT by improving range of motion, restoring normalization of the scapulohumeral rhythm, enhancing shoulder stability and optimizing muscle activity patterns. Given that kinematic analysis is a fundamental strategy for the development of rehabilitation therapy, this paper reviews the progress of research on the kinematic features of RCT and the corresponding exercise therapy at home and abroad in recent years. The results of the literature review indicate that patients with RCT have significant abnormal kinematic features, including limited shoulder range of motion, abnormal shoulder-humeral rhythm ratio, reduced shoulder stability and abnormal muscle activation patterns.

Key words: Rotator cuff tear; Kinematic characteristics; Exercise therapy; Scapulohumeral rhythm

肩袖肌群是由冈上肌、冈下肌、小圆肌、肩胛下肌及其肌腱构成,对肩关节的运动和稳定起着重要作用。肩袖损伤(Rotator cuff tear, RCT)是指上述肌腱中一个或多个发生撕裂或从肱骨上剥脱,是常见的肩部损伤之一,其发病率与年龄有关,在70岁以上人群中患病率超过80%,认为是与年龄相关的肌腱退行性病变所致^[1]。RCT同样高发于运动人群,

尤其是投掷类项目运动员^[2]。对于RCT的治疗,目前研究聚焦于手术治疗、关节松动、肌力训练、理疗等方法^[3-4],而较少研究提出针对性的运动方案以解决潜在的运动学异常,患者仍面临复发风险。因此,本文就近年来国内外关于RCT运动学特征及相应运动治疗的研究进展进行综述,以期为临床实践提供参考。

通信作者:温优良,男,博士,硕士生导师,研究方向:脑血管疾病。E-mail:wylreha@gmu.edu.cn

1 正常关节运动学

1.1 肩关节正常活动范围 (Range of Motion, ROM)

肩关节具有结构复杂、灵活性高、活动范围大且易损伤等特点。肩关节的活动由盂肱关节、肩锁关节、胸锁关节及肩胛胸壁关节协同完成。其中,盂肱关节属于球窝关节,在肩部活动中提供主要的运动自由度,其ROM特征表现为:屈曲与外展可达 120° ,伸展与内收约为 45° ,而内外旋活动度均可达到 90° ^[5]。复合运动如水平内收ROM约为 $130^{\circ} \sim 140^{\circ}$,水平外展ROM约为 $40^{\circ} \sim 50^{\circ}$ 。肩袖肌群在外旋、内旋以及协同三角肌参与外展和前屈方面起重要作用。

1.2 肩肱节律 正常情况下,肱骨与肩胛骨在肩关节外展时按照一定的运动比例(正常为2:1)协同运动,这比例称为“肩肱节律”,是评估肩关节运动功能的重要指标^[6]。这一节律依赖于肩袖肌群及肩胛肌群的动态调控:冈上肌启动外展并维持肱骨头中心化,三角肌中束提供主要动力,而冈下肌和小圆肌通过外旋肱骨防止大结节撞击肩峰,同时肩胛下肌与冈上肌协同内收肱骨,辅助肱骨头向下滑动;而肩胛骨的上旋运动则依赖前锯肌、斜方肌上束和下束的力偶作用与三角肌中束的结合^[7-8]。若该机制紊乱,则可能引发疼痛或活动受限,甚至导致肩袖损伤。

1.3 肩袖的稳定机制 肩袖肌群通过独特的力学机制维持肩关节动态稳定。其核心作用包括:(1)“压缩-凹陷”机制:收缩时将肱骨头压向关节盂凹面,增强关节接触面压力;(2)力偶平衡:冠状面上三角肌与肩袖肌群形成拮抗力偶维持肱骨头的上下稳定性,水平面上肩胛下肌与冈下肌、小圆肌形成横向力偶控制肱骨头的前后稳定性;(3)外旋保护:冈下肌和小圆肌外旋肱骨使大结节远离肩峰,防止 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 外展时发生撞击^[9-10]。这种多平面协同作用可补偿关节囊韧带松弛时的稳定性不足,是肩关节动态稳定的关键^[11]。

1.4 肩周肌群活动模式 肩周肌群按照一定的时序激活以完成不同动作,以肩外展为例,初始 $0^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 由冈上肌启动, 15° 后三角肌中束主导发力,冈上肌部分纤维持续激活;约 30° 时肩胛骨上旋(斜方肌和前锯肌参与),外展继续进行;当外展至 $60^{\circ} \sim 90^{\circ}$ (疼痛弧)时,肱骨大结节靠近肩峰易导致肩峰下间隙受压,此时冈下肌和小圆肌激活外旋肱骨使大结节远离肩峰,保证外展持续进行;同时肩胛下肌和

冈上肌内收肱骨,辅助肱骨头下移,既防止撞击又维持关节稳定^[12]。

2 肩袖损伤后异常运动学特征

2.1 活动范围受限 RCT患者常表现为肩关节主动活动度(Active range of motion, AROM)显著受限。活动受限程度与撕裂类型密切相关:全层RCT通常导致肩关节外展、前屈和外旋活动明显受限;而部分撕裂可能仅引起轻微活动度下降或疼痛。这种活动受限的核心机制在于肩袖肌肉力偶失衡:(1)当涉及前上方如冈上肌撕裂时,往往会影响肩外展功能。Dyrna F等^[13]研究表明,冈上肌撕裂会导致盂肱关节外展运动丧失。Veen E J D等^[14]研究进一步阐明,冈上肌撕裂破坏其与三角肌之间的力偶平衡,使三角肌在抬臂过程中过度激活,牵拉肱骨头向前上方移位,诱发肩峰下撞击及疼痛,患者可能因疼痛而限制AROM。与健康组相比,RCT组肩关节AROM显著减小,包括前屈、后伸、外展及外旋各角度均减小;(2)Bauer S等^[11]研究强调了肩胛下肌和小圆肌在维持肱骨头居中和肩关节水平面力偶平衡中的重要性。当巨大RCT破坏了肩袖肌群(尤其是肩胛下肌和小圆肌)与三角肌之间的垂直力偶关系时,患者会出现上举无力,甚至表现为“假性麻痹”——即主动前屈角度显著减小($\leq 45^{\circ}$)或完全丧失,但被动活动度保留且疼痛并非主要限制因素。综上,肩袖损伤后的活动受限主要源于肩袖肌肉力偶失衡。因此,恢复肩袖肌肉与三角肌之间的协调力偶关系,是改善肩关节ROM的关键治疗目标。

2.2 肩肱节律比例异常 肩肱节律的正常比例依赖肱骨与肩胛骨的协调运动,任一运动轨迹出现异常,都会导致肩肱节律失常。

2.2.1 肱骨头运动轨迹异常 由于残余肩袖无法有效控制肱骨头的正常位置,肱骨头易发生异常移位。Keener J D等^[15]通过X线观察发现,RCT患者肩峰下间隙较正常人群缩小,外展时肱骨头向近端移位,其移位幅度与疼痛及肩袖撕裂大小有关。Bauer S等^[11]研究指出,当涉及肩胛下肌的巨大RCT,肱骨头会因失去前下方稳定而向前上方脱位;而当涉及小圆肌的RCT,肱骨头则因失去后下方支撑而发生向后上方移位,同时因破坏了肩袖肌群与三角肌的垂直力偶关系,肱骨头肩袖下压力量削弱而随三角肌牵拉向上移位。Yamada Y等^[16]研究发现,与不伴有肩胛下肌撕裂的巨大RCT患者相比,

伴有肩胛下肌撕裂者的肱骨头中心位置在静态时显著增高,且在手臂上举过程中肱骨头上下移动幅度更大。提示对于巨大RCT患者,肩胛下肌对于维持肱骨头垂直方向的动态稳定性起着重要作用,肩胛下肌撕裂破坏了这种稳定性,导致肱骨头上移。然而,张一翀等^[17]研究发现,肱骨上移程度与肩袖损伤程度呈负相关。这提示其并非独立影响因素,还需结合其他评估结果综合分析。

2.2.2 肩胛骨运动模式异常 RCT患者异常的肩胛骨运动总体特征为肩外展时肩胛骨上旋增大和后倾减少,导致肩肘节律比例降低,多数学者认为是肩胛骨的代偿机制^[18-20]。肩袖受损后,其稳定肱骨头与辅助外展的功能减弱,此时与之形成力偶关系的前锯肌、冈上肌需代偿性增加活动使肩胛骨增加上旋角度,以扩大肩峰下间隙,避免肱骨头与肩峰下发生撞击。Zdravkovic V等^[21]研究进一步证明,RCT患者在上臂抬高 $50^{\circ} \sim 93^{\circ}$ 相较于健康人群,表现出更多的肩胛骨运动。而Miura Y等^[22]持不同观点,其研究认为巨大RCT患者肩胛骨后倾及外旋与健康人群无显著差异,但观察范围局限于小于 120° 的外展。提示全范围活动不同撕裂程度RCT患者的差异仍需要验证。目前肩胛骨运动异常与RCT的因果关系尚不明确,可能源于肌肉功能障碍(如疼痛抑制或激活紊乱),也可能是肩胛运动异常导致肩峰下间隙减小进而诱发RCT^[23-24]。尽管机制未明,但纠正肩胛骨运动异常是RCT康复的核心环节。

2.3 肩关节稳定性降低 肱骨头向上移位是关节稳定性下降的表现。关节囊韧带损伤后,肱骨头脱位风险增加^[25]。Papatheodorou A等^[26]通过超声评估发现,RCT患者肌腱出现不同程度的缺损信号,提示RCT显著削弱肩关节动态稳定性。这种异常源于冈上肌撕裂导致的力偶失衡,三角肌失去拮抗,垂直牵拉肱骨头上移^[27]。尽管多数研究认为是冈上肌主导稳定性丧失,但有学者^[16,28]发现,肩胛下肌可能是关键的稳定肌,肩袖损伤后,剩余肩袖肌的代偿作用可有效减小肱骨头上移,但在涉及肩胛下肌上1/3的撕裂中,这种代偿作用不足,进一步导致肩关节稳定性下降。提示在RCT恢复中需要重视肩胛下肌的评估和强化。

2.4 肌肉激活模式异常 相较于健康人群,RCT患者表现出异常的肌肉激活模式,主要表现为剩余肩袖肌群的代偿性活动增强。Hawkes D H等^[29]研究报道,冈上肌撕裂会增强肩胛下肌和小圆肌的代偿性激活,以维持肱骨头在关节盂内的稳定性,提

示剩余肩袖肌肉的代偿性强化对功能恢复至关重要。值得注意的是,非肩袖肌群也同样受累,Dyrna F等^[13]发现,RCT患者(尤其前上方撕裂者)在肩外展时需要增强三角肌活动以维持运动功能,防止外展能力丧失。Veen E J D等^[14]针对慢性症状性RCT患者的研究进一步揭示,上肢抬高时,三角肌后束和肱二头肌的肌电活动亢进;下降阶段两者协同作用减弱且激活提前,同时剩余肩袖肌肉的协同激活降低,表明患者通过增加三角肌后束及肱二头肌的活动以代偿肩袖功能的缺失。尽管此类肌肉代偿策略可在短期内部分维持肩关节功能,但长期的肌肉协同作用减弱可导致代偿肌疲劳,造成运动效率降低甚至导致新的运动损伤。Spall D等^[30]研究发现,RCT患者在进行盂肱关节运动时,其上斜方肌激活持续时间延长,等长收缩时前、中三角肌更易疲劳。长期可能诱发颈肩疼痛,并掩盖真实的损伤程度。因此,重建剩余肩袖肌群与肩周肌群的协同作用,抑制肌肉过度代偿,是优化肌肉激活模式、恢复肩关节运动功能,并预防继发性损伤的治疗重点。

3 运动治疗

除了巨大全层RCT需手术治疗外,保守治疗(包括运动治疗)是RCT的首要选择^[3]。基于上述运动学特征分析,提出针对性的训练对RCT患者功能恢复至关重要。

3.1 改善ROM 基于运动学特征分析,RCT的活动受限源于肩袖肌群力偶失衡与疼痛抑制的相互作用,并伴随代偿性肌肉过度激活。针对此问题,临床常将被动关节活动练习和运动训练作为常规运动治疗方案,近年来研究聚焦于优化常规康复方案,通过联合其他治疗提高疗效,包括中西医结合治疗(如针刺、中药、推拿)、理疗(如体外冲击波疗法)、药物注射及其他现代康复技术等^[3-4]。

关节松动术是常用的被动关节活动练习,通过被动活动关节以促进内部液体循环和流动,从而实现缓解疼痛和扩大ROM的目的。关节松动术联合体外冲击波治疗可以协同增效。邵权威等^[31]研究表明,关节松动术结合体外冲击波治疗RCT患者相比单一疗法在缓解疼痛和恢复功能上更具优势,UCLA肩关节评分关节松动术结合体外冲击波组高于冲击波组和关节松动术组(P 均 <0.05),这可能得益于体外冲击波能促进新血管再生、改善微循环、调节体内P物质释放,从而提高机体疼痛阈值^[32]。

这为ROM受限伴疼痛的患者提供了新的治疗选择。张怡等^[33]研究也发现,常规康复训练联合体外冲击波治疗效果优于单一治疗,治疗后肩关节ROM各项评分明显高于常规康复训练组($P<0.05$),尤其是肩屈曲角度。其中康复训练包括ROM训练、肩袖肌群及肩胛周围肌肉等长收缩训练及闭链训练。这些训练一定程度改善了肩袖损伤后的肌力失衡问题,但并未明确治疗对象的受伤肌群,因此肌力训练缺乏针对性。

本体感觉神经肌肉易化技术(Proprioceptive neuromuscular facilitation, PNF)是一种通过刺激本体感受器,结合螺旋对角线运动模式和抗阻-放松-牵伸的操作,来增强肌力、协调性及ROM的康复训练的技术。陈俊吉等^[34]研究发现,PNF有效改善肩关节AROM,训练后各方向ROM显著高于训练前水平,值得注意的是,PNF在改善肩关节内旋肌力、AROM及功能评分方面相较于抗阻运动联合被动ROM训练更具优势。PNF训练利用交互抑制降低肌肉张力,有效优化肌群协调性,且采用多平面复合动作模拟功能性任务,相较于常规肌力训练只针对单一肌群向心收缩及孤立关节训练,PNF可能更适用于RCT伴肌力失衡者。

3.2 恢复肩肱节律 RCT患者因肩袖下压功能丧失,导致三角肌主导上提肱骨,引发肱骨头上移、肩峰下间隙缩小。肩胛骨发生代偿性上旋增加和后倾减少破坏了正常肩肱节律,诱发肩峰下撞击和疼痛。因此,运动治疗需要强化肱骨头动态稳定及重建肩胛骨力偶平衡。

Yamada Y等^[16]研究显示,肩胛下肌撕裂会导致肱骨上移及稳定性下降,提示康复应优先强化肩袖肌群(肩胛下肌、冈下肌、小圆肌)的下压功能,以对抗三角肌过度牵拉导致的撞击风险。同时,增强肩袖肌群与三角肌的动态协调性至关重要。目前关于这些肌群的运动治疗都纳入了常规康复训练中,但未发现相关效果指标中量化肱骨头位置的变化。

肩胛骨稳定性训练作为改善肩胛骨运动异常的有效疗法,强调肩胛骨后缩和下降模式,并针对性强化薄弱肌群(如前锯肌、斜方肌中下束等)^[35]。赵琛等^[6]通过针对性的肩外旋训练、前锯肌训练(如推墙训练、仰卧出拳训练)、斜方肌中下束激活训练(如俯卧“T、Y”训练)改善了RCT患者的肩肱节律,表现为肩胛骨启动角度提高,肩外展ROM及疼痛评分显著改善。这表明激活剩余肩袖肌群(冈下肌、小圆肌)及肩胛骨周围肌群(前锯肌、斜方肌下束),

能有效减少三角肌在肩外展时的剪切力并抑制斜方肌上束过度激活,从而纠正肩胛骨过度上旋。王阳等^[36]研究进一步支持肩胛骨稳定性训练(如强化肩袖肌群的肩内外旋肌力训练、激活前锯肌的俯卧撑训练、训练中下斜方肌和菱形肌的肩胛骨钟表训练)联合理疗在改善慢性RCT患者肩关节功能与AROM方面优于电针联合按摩。值得注意的是,在基础动作(如俯卧撑)中加入不稳定因素(如平衡垫、悬吊系统),可进一步激活前锯肌及斜方肌中下束,提升训练效益^[37]。然而,现有研究多聚焦于通过平衡斜方肌上下束与前锯肌的力偶关系来改善肩胛骨运动异常,其疗效评价主要依赖ROM、疼痛评分和功能评分等间接指标,缺乏对肱骨头位置动态变化(如通过X线影像学量化)的直接观察,也未能实时精准监测目标肌群(如肩袖下压肌群、前锯肌、斜方肌中下束)的激活状态。未来研究应补充影像学评估以量化肱骨头位置变化,并利用肌电生物反馈等技术实现对肩胛骨神经肌肉控制的精准干预与疗效评估。

3.3 恢复肩袖稳定机制 基于运动学特征分析,运动治疗需要重点恢复肩袖肌群“压缩-凹陷”机制、重建其冠状面与水平面力偶平衡、并强化外旋肌群功能,以全面恢复肩袖的多平面协同稳定肱骨头机制。开链运动(Open kinetic chain exercises, OKCE)和闭链运动(Closed kinetic chain exercises, CKCE)是训练肩袖肌群的常用方法,OKCE是指肢体近端固定、远端自由活动(如哑铃弯举),适用于单一肌肉孤立训练;而CKCE是指肢体远端固定、近端活动的运动(如引体向上、深蹲),通过多关节协同运动以增强关节本体感觉、稳定性及功能性^[38]。表面肌电中位频率(Median frequency, MDF)是评估肌肉疲劳的关键指标,其值下降提示肌肉疲劳,上升则反映肌肉抗疲劳能力增强。Kang J I等^[39]随机对照试验显示,OKCE与CKCE均能显著激活冈上肌、冈下肌、三角肌前束,且CKCE组在提升冈上肌与冈下肌的MDF值方面优势突出,所有受测肌肉的MDF改善均优于OKCE组($P<0.05$)。Pizzi F等^[40]研究也发现,CKCE对小圆肌与下斜方肌(向心及离心收缩)的激活程度更高。然而,Reed D等^[41]研究发现,在亚极量负荷下,除三角肌中束激活相似外,CKCE组中肩胛下肌等其他肌肉的激活显著低于OKCE组,推测CKCE可能更利于扩大肩外展,而对深层肩袖稳定肌的需求相对较低。这种差异提示,肩袖的核心功能在于运动中动态控制肱骨头

位置而非产生大范围活动,因此,无论 OKCE 或 CKCE,肩袖肌群均需要持续激活以维持肩关节稳定,导致其激活水平在某些条件下可能接近;而具体训练模式选择需要结合治疗目标(如侧重肌耐力、特定肌肉激活或活动度改善)进行综合考量。

3.4 改善肌肉活动模式 基于运动学特征分析,改善 RCT 患者的肌肉激活模式,应着重通过加强三角肌前束及肩胛带肌肉的活动以弥补 RCT 功能障碍,同时需要避免过度激活导致不良运动代偿模式。Veen E J D 等^[14]报道指出,对症状性 RCT 患者,处理肱二头肌腱并加强三角肌后束训练,有助于纠正肱二头肌过度激活、三角肌后束活动减弱及与剩余肩袖肌群协同作用下降的异常代偿模式。在训练方式选择上,Cools A M 等^[42]通过肌电图评估表明,

采用 CKCE(如卧推和墙壁滑动)能有效激活三角肌、斜方肌,同时保持其他肌肉的活动水平低于 20%。斜方肌和前锯肌是稳定肩胛骨的重要肌肉,Mendez-rebolledo G 等^[43]研究指出,训练效果受姿势影响:较高体位(如躯干最接近垂直线的练习)或不稳定表面练习更利于激活上斜方肌,而推举、半俯卧撑和单手平板支撑更利于训练下斜方肌。这些发现为制定针对性、渐进性的训练方案提供了重要依据。然而,现有研究多依赖肌电图解释肩周肌肉活动变化,虽为个性化运动方案设计提供了参考,但关于运动治疗有效性的高质量临床研究仍相对匮乏,这可能导致该领域认知存在盲区。

表 1 系统归纳了 RCT 异常运动特征对应的机制、靶向治疗及预期疗效。

表 1 RCT 异常运动综合评估与治疗框架

RCT 异常运动特征	机制	运动治疗	预期疗效
ROM 受限	肌肉力偶失衡 ^[11,14-15]	(1)关节松动术+体外冲击波 ^[31,33] ; (2)PNF 技术 ^[34] ; (3)常规康复训练 (ROM 练习、肌力训练)	(1)改善肌力失衡; (2)优化肌群协调性; (3)扩大肩关节 ROM; (4)缓解疼痛
肩关节节律异常	(1)肩袖控制不足,肱骨头上移 ^[11,15-16] ; (2)肩胛骨代偿性上旋 ^[18-20]	(1)强化肩袖下压肌群 ^[16] ; (2)肩胛稳定性训练 ^[6,36,38] ; (3)增加不稳定因素 ^[37] (平衡垫悬吊系统)	(1)恢复肱骨头正常位置与运动; (2)纠正肩胛骨运动异常,改善肩关节节律; (3)增强肩胛带肌激活和协调性
肩关节稳定性降低	(1)关节囊松弛 ^[25] ; (2)肌肉力偶失衡 ^[27] ; (3)剩余肩袖代偿能力不足 ^[16,28]	(1)闭链运动 ^[39-40] ; (2)开链运动 ^[41]	(1)增强肩袖肌群耐力和稳定性,改善本体感觉; (2)有效激活目标肌群,改善肌力偶失衡
肌肉激活模式异常	(1)其余肩袖与肩周肌群代偿性过度激活,且协同作用减弱 ^[13-14,29-30] ; (2)肌肉易疲劳(如三角肌)易诱发颈肩疼痛等继发性损伤 ^[30]	(1)针对性肌群训练 ^[14] (三角肌、后束、肩胛带肌); (2)特定姿势激活目标肌群 ^[43] (如卧推激活三角肌)	(1)纠正异常代偿模式; (2)有效激活目标肌群,优化肩胛骨稳定肌的激活模式

4 小结

RCT 引发肩关节特异性运动异常,如活动范围受限源于肩袖力偶失衡与疼痛抑制,肩关节节律紊乱表现为肱骨头上移及肩胛骨代偿性上旋,动态稳定性下降与肩袖“压缩-凹陷”机制破坏(尤其肩胛下肌功能丧失)相关,肌肉激活异常则体现为剩余肩袖代偿性增强与三角肌/肱二头肌协同失调。基于上述特征,靶向运动治疗需要分层干预: (1)针对 ROM 受限,联合关节松动术与体外冲击波缓解疼痛,并采用 PNF 技术通过神经肌肉调控优化力偶平衡; (2)纠正肩关节节律紊乱,通过强化前锯肌及斜方肌

中下束,抑制上斜方肌过度激活,必要时结合悬吊训练增强动态控制; (3)恢复肩关节稳定性,优先通过 CKCE 提升肩袖肌群耐力以重建肱骨头动态中心化; (4)改善肌肉异常激活模式,可依据表面肌电图证据针对性强化三角肌后束及肩胛带肌群。

目前基于运动学特征的针对性 RCT 运动策略的相关研究仍然有限,运动方案局限于规范化分期康复,缺乏针对个体运动学异常(如特定肌群激活不足、肱骨移位模式)的精准设计。尽管相关指南强调基于全面评估制定个性化训练方案的重要性,但针对病程特异性训练方案仍缺乏标准化框架,

导致精准康复的实施存在缺口。因此,未来对于通过运动治疗肩袖损伤的临床试验及相应诊断治疗仍需要深入探究。

所有作者均声明不存在利益冲突关系。

参考文献:

- [1] Viswanath A, Monga P. Trends in rotator cuff surgery: research through the decades[J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2021, 18: 105–113.
- [2] Marigi E M, Conte S, Reinholz A K, et al. Shoulder injuries in professional baseball batters: analysis of 3, 414 injuries over an 8-year period[J]. *Arthrosc Sports Med Rehabil*, 2022, 4(3): e1119–e1126.
- [3] 周天心,朱慧芳,熊道海,等. 肩袖损伤的发病机制、诊断及保守治疗进展[J]. *按摩与康复医学*, 2023, 14(5): 35–40.
- [4] 侯学鹏,吕子萌,陶庄,等. 2010—2022年非手术治疗肩袖损伤研究文献可视化分析[J]. *中国中医药图书情报杂志*, 2024, 48(3): 89–95.
- [5] Epperson T N, Black A C, Varacallo M A. *Anatomy, shoulder and upper limb, sternoclavicular joint* [M]. Treasure Island: StatPearls Publishing, 2023.
- [6] 赵琛,廖涛,刘太,等. 调整肩关节律治疗肩峰下撞击综合征与肩袖损伤的疗效分析[J]. *中华肩肘外科电子杂志*, 2024, 12(1): 49–55.
- [7] Ludewig P M, Braman J P. Shoulder impingement: biomechanical considerations in rehabilitation [J]. *Man Ther*, 2011, 16(1): 33–39.
- [8] 吴腾飞. 基于光学运动捕捉系统的人体肩关节运动学分析及肩关节律研究[D]. 上海:上海交通大学, 2016.
- [9] Mayer S W, Kraszewski A P, Skelton A, et al. What are the effects of capsular plication on translational laxity of the glenohumeral joint: a study in cadaveric shoulders [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476(7): 1526–1536.
- [10] Williamson P M, Hanna P, Momenzadeh K, et al. Effect of rotator cuff muscle activation on glenohumeral kinematics: a cadaveric study [J]. *J Biomech*, 2020, 105: 109798.
- [11] Bauer S, Okamoto T, Babic S M, et al. Understanding shoulder pseudoparalysis: part I: definition to diagnosis [J]. *EFORT Open Rev*, 2022, 7(3): 214–226.
- [12] Tooth C, Gofflot A, Schwartz C, et al. Risk factors of overuse shoulder injuries in overhead athletes: a systematic review[J]. *Sports Health*, 2020, 12(5): 478–487.
- [13] Dyrna F, Kumar N S, Obopilwe E, et al. Relationship between deltoid and rotator cuff muscles during dynamic shoulder abduction: a biomechanical study of rotator cuff tear progression [J]. *Am J Sports Med*, 2018, 46(8): 1919–1926.
- [14] Veen E J D, Koorevaar C T, Verdonchot K H M, et al. Compensatory movement patterns are based on abnormal activity of the biceps brachii and posterior deltoid muscles in patients with symptomatic rotator cuff tears [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2021, 479(2): 378–388.
- [15] Keener J D, Wei A S, Kim H M, et al. Proximal humeral migration in shoulders with symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2009, 91(6): 1405–1413.
- [16] Yamada Y, Kai Y, Kida N, et al. Dynamic three-dimensional shoulder kinematics in patients with massive rotator cuff tears: a comparison of patients with and without subscapularis tears [J]. *Clin Shoulder Elb*, 2022, 25(4): 265–273.
- [17] 张一翀,陈建海,党育,等. 肩袖损伤程度和肱骨头上移距离间的相关性分析[J]. *北京大学学报(医学版)*, 2019, 51(2): 273–276.
- [18] 付一峰,高奉,朱婷,等. 肩袖撕裂及治疗后的肩胛骨运动学特征研究进展[J]. *中国体育科技*, 2023, 59(4): 36–42.
- [19] Barcia A M, Makovicka J L, MRAB Study Group, et al. Scapular motion in the presence of rotator cuff tears: a systematic review [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2021, 30(7): 1679–1692.
- [20] 谢露,罗丁元,王玮宁,等. 肩袖撕裂与肩胛骨动力障碍相关性研究进展[J]. *中国矫形外科杂志*, 2022, 30(11): 1002–1006.
- [21] Zdravkovic V, Alexander N, Wegener R, et al. How do scapulothoracic kinematics during shoulder elevation differ between adults with and without rotator cuff arthropathy? [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2020, 478(11): 2640–2649.
- [22] Miura Y, Kai Y, Morihara T, et al. Three-dimensional scapular kinematics during arm elevation in massive rotator cuff tear patients [J]. *Prog Rehabil Med*, 2017, 2: 20170005.
- [23] Kibler W B, Sciascia A, Wilkes T. Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury [J]. *J Am Acad Orthop Surg*, 2012, 20(6): 364–372.
- [24] Longo U G, Risi Ambrogioni L, Berton A, et al. Scapular dyskinesis: from basic science to ultimate treatment [J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(8): 2974.
- [25] Pouliart N, Gagey O. Concomitant rotator cuff and capsuloligamentous lesions of the shoulder: a cadaver

- study[J]. *Arthroscopy*, 2006, 22(7): 728-735.
- [26] Papatheodorou A, Ellinas P, Takis F, et al. US of the shoulder: rotator cuff and non-rotator cuff disorders [J]. *RadioGraphics*, 2006, 26(1): e23.
- [27] Gombera M M, Sekiya J K. Rotator cuff tear and glenohumeral instability: a systematic review [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2014, 472(8): 2448-2456.
- [28] Hoshikawa K, Dominguez M, Lawrence R L, et al. Muscle compensation strategies to maintain glenohumeral joint stability in rotator cuff tears: a cadaveric study [J]. *J Bone Joint Surg Am*, 2025, 107(1): 26-35.
- [29] Hawkes D H, Alizadehkhayat O, Fisher A C, et al. Normal shoulder muscular activation and co-ordination during a shoulder elevation task based on activities of daily living: an electromyographic study [J]. *J Orthop Res*, 2012, 30(1): 53-60.
- [30] Spall P, Ribeiro D C, Sole G. Electromyographic activity of shoulder girdle muscles in patients with symptomatic and asymptomatic rotator cuff tears: a systematic review and meta-analysis [J]. *PM R*, 2016, 8(9): 894-906.
- [31] 邵权威, 年申生, 刘康, 等. 体外冲击波结合关节松动术治疗肩袖部分损伤合并肩关节僵硬的短期疗效观察 [J]. *海军军医大学学报*, 2024, 45(3): 358-363.
- [32] 祁昌杰, 黄振俊, 罗展鹏, 等. 不同强度体外冲击波结合合理筋手法治疗肩峰撞击综合征的疗效分析 [J]. *新疆医科大学学报*, 2021, 44(3): 364-369.
- [33] 张怡, 邢军. 体外冲击波治疗肩袖损伤术后肩关节功能障碍的临床研究 [J]. *中国康复*, 2023, 38(9): 543-547.
- [34] 陈俊吉, 高田稻, 刘晓龙, 等. 本体感觉神经肌肉易化训练对运动性肩袖损伤功能恢复的影响 [J]. *医用生物力学*, 2022, 37(1): 174-179.
- [35] 席蕊, 周敬滨, 高奉, 等. 肩胛骨运动康复训练干预肩峰下撞击综合征的方法及临床效果研究进展 [J]. *中国运动医学杂志*, 2020, 39(3): 241-246.
- [36] 王阳, 白雪桦, 荆潮, 等. 物理治疗联合肩胛骨稳定性训练治疗慢性肩袖损伤疗效观察 [J]. *按摩与康复医学*, 2021, 12(24): 28-32.
- [37] Torres R J B, Pirauá A L T, Nascimento V Y S, et al. Shoulder muscle activation levels during the push-up-plus exercise on stable and unstable surfaces [J]. *J Sport Rehabil*, 2017, 26(4): 281-286.
- [38] 王璐, 于歌, 陈亚平. 神经肌肉控制训练治疗粘连性肩关节囊炎的效果 [J]. *中国康复理论与实践*, 2022, 28(5): 616-620.
- [39] 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(10): 2772-2777.
- [40] Pozzi F, Plummer H A, Sanchez N, et al. Electromyography activation of shoulder and trunk muscles is greater during closed chain compared to open chain exercises [J]. *J Electromyogr Kinesiol*, 2022, 62: 102306.
- [41] Reed D, Cathers I, Halaki M, et al. Shoulder muscle activation patterns and levels differ between open and closed-chain abduction [J]. *J Sci Med Sport*, 2018, 21(5): 462-466.
- [42] Cools A M, Tongel A V, Berckmans K, et al. Electromyographic analysis of selected shoulder muscles during a series of exercises commonly used in patients with symptomatic degenerative rotator cuff tears [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2020, 29(10): e361-e373.
- [43] Mendez-Rebolledo G, Morales-Verdugo J, Orozco-Chavez I, et al. Optimal activation ratio of the scapular muscles in closed kinetic chain shoulder exercises: a systematic review [J]. *J Back Musculoskelet Rehabil*, 2021, 34(1): 3-16.

(收稿:2025-06-18)(修回:2025-07-18)

(责任编辑:李萍)