

# 肱骨干骨折手术患者三角肌萎缩影响因素及研究进展

钱昕翌<sup>1\*</sup>, 陈逸飞<sup>2,3#</sup>

<sup>1</sup>盐城市第七人民医院, 综合外科, 江苏 盐城

<sup>2</sup>湖州师范学院护理学院, 浙江 湖州

<sup>3</sup>盐城市第一人民医院, 护理部, 江苏 盐城

收稿日期: 2024年12月4日; 录用日期: 2025年1月3日; 发布日期: 2025年1月14日

## 摘要

对肱骨干骨折手术患者三角肌萎缩的现状、影响因素及护理干预进行综述, 旨在为我国临床进一步开展肱骨干骨折手术患者三角肌萎缩的相关研究提供参考, 建议临床护理人员在开展围术期护理时, 充分考虑患者的实际情况, 设计个性化护理方案。

## 关键词

肱骨干骨折, 三角肌萎缩, 影响因素, 干预措施, 综述

# Influencing Factors and Research Progress of Deltoid Muscle Atrophy in Patients with Humeral Shaft Fracture Surgery

Xinyi Qian<sup>1\*</sup>, Yifei Chen<sup>2,3#</sup>

<sup>1</sup>Department of General Surgery, The Seventh People's Hospital of Yancheng, Yancheng Jiangsu

<sup>2</sup>School of Nursing, Huzhou University, Huzhou Zhejiang

<sup>3</sup>Department of Nursing, Yancheng No.1 People's Hospital, Yancheng Jiangsu

Received: Dec. 4<sup>th</sup>, 2024; accepted: Jan. 3<sup>rd</sup>, 2025; published: Jan. 14<sup>th</sup>, 2025

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 钱昕翌, 陈逸飞. 肱骨干骨折手术患者三角肌萎缩影响因素及研究进展[J]. 护理学, 2025, 14(1): 60-68.  
DOI: 10.12677/ns.2025.141008

## Abstract

This article reviews the current situation, influencing factors and nursing intervention of deltoid muscle atrophy in patients with humeral shaft fracture surgery, so as to provide a reference for further clinical research on deltoid muscle atrophy in patients with humeral shaft fracture surgery in China. It is suggested that clinical nurses should fully consider the actual situation of patients and design personalized nursing programs when carrying out perioperative nursing.

## Keywords

Humeral Shaft Fracture, Deltoid Muscle Atrophy, The Influencing Factors, Interventions, Review

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

肱骨干骨折(Humeral Shaft Fractures, HSF)指肱骨外科颈以下 1~2 cm 至肱骨髁上 2 cm 之间的骨折, 占肱骨骨折的 20% [1]。近年来随着外科学技术的快速发展, 手术治疗逐渐体现出优势, 可明显缩短患者佩戴外固定的时间、减轻患者疼痛、提高骨折愈合速度、改善患肢功能[2]。然而, 患者术后康复效果不仅取决于手术是否成功, 还与围术期护理密切相关, 其中三角肌体积与肌力的恢复是肱骨干骨折围术期护理的主要环节之一。肱骨干骨折手术治疗后, 患者三角肌由于多种原因导致失用性萎缩, 严重影响患者肩关节功能的恢复。本研究对肱骨干骨折手术患者术后三角肌萎缩的影响因素及护理进展进行综述, 以期对肱骨干骨折手术患者护理方案的制定及新护理模式的探索提供参考。

## 2. 肱骨干骨折手术治疗病人三角肌萎缩现状

肱骨干骨折手术后较长时间的保护固定会导致三角肌萎缩, 这会使肩部康复变得困难并损害功能恢复, 在老年人中尤其明显[3]。失用性萎缩的速度呈负指数变化, 在早期废用期观察到的萎缩最迅速, 并随着废用持续时间的延长而逐渐减弱, 尽管老年人肌肉和年轻人肌肉的肌肉流失水平相似, 但老年人的肌肉在失用后无法完全恢复[4]。研究表明, 术后旋转不良难以避免并损伤肩袖, 进一步发展为三角肌肌力下降、体积缩小, 而三角肌萎缩导致肩袖组织应力增加, 手术患者围术期应强调预防三角肌萎缩[5][6]。虽然失用性萎缩是可逆的, 但其发生速度快, 恢复速度却极其缓慢, 不但影响运动神经功能, 还会导致肌肉抗疲劳能力降低[7][8]。科学的护理干预对患者三角肌恢复有积极的作用, 然而现有的骨折临床实践指南尚未关注三角肌的康复干预[9]。本研究探索肱骨干骨折手术患者三角肌萎缩的影响因素及护理进展, 以其为护理人员制定围术期护理方案提供依据。

## 3. 肱骨干骨折手术患者三角肌萎缩的影响因素

### 3.1. 病人自身因素

#### 3.1.1. 社会人口学因素

研究表明, 三角肌短期内失用性萎缩是由于肌肉蛋白合成下降所驱动, 而非肌肉蛋白分解增加所致,

老年人衰老过程伴随合成代谢抵抗, 需要摄入更多蛋白质才能达到最大肌肉蛋白合成率[10][11]。衰老过程中的动态变化可能有利于净蛋白质降解和肌肉纤维损失, 并限制了老年人在康复过程中恢复肌肉质量[12][13]。James 等[14]研究指出失用性萎缩在职业领域中存在差异, 非体力劳动职业的肌肉萎缩程度较体力劳动职业更为严重。由此可见, 年龄和职业是影响三角肌萎缩的相关因素, 老年人群和从事非体力劳动职业的个体应特别关注围手术期护理, 以避免三角肌萎缩及再次损伤。

### 3.1.2. 旋转不良

肱骨干骨折术后旋转不良可能会增加肩袖变性风险, 进而导致肌肉损伤、肌力下降并限制患者活动[5]。Wang 等[15]研究进一步指出, 旋转不良会导致肱骨头与关节盂边缘之间的碰撞以及关节接触应力的增加, 引发过大的拉伸应力作用于肱骨, 致使肩部软骨损伤和退化, 限制患者肩部活动能力并加重三角肌失用性萎缩。

### 3.1.3. 疼痛

肱骨干骨折后通常伴随上肢肌肉损伤, 严重影响患侧上肢的功能, 包括前臂和腕部功能。在主动或被动活动患侧时, 疼痛会明显加剧, 尤其是断端处感觉到强烈的疼痛, 患者常常拒绝活动[2]。骨折发生后, 在接下来的几周甚至几个月内, 患者往往因疼痛减少肩部活动量减少, 导致三角肌失用性萎缩[16]。

## 3.2. 其他相关因素

### 3.2.1. 手术方式

对钢板固定术的研究表明, 为了在切开复位固定术中获得理想位置, 术中须切开部分三角肌充分容纳钢板, 这会干扰三角肌在肱骨干上的附着, 从而影响肩关节外展[17][18]。刘硕[19]研究表明, 在进行髓内钉固定术时由于入路问题需打开肩袖, 易出现肩关节疼痛及活动受限。疼痛部位常在肩关节前方或者外侧, 活动时加重, 后期易引起肩峰下撞击综合征, 影响患者肩部活动。

### 3.2.2. 营养补充

与能量均衡饮食相比, 低热量饮食加剧了制动期间的蛋白质分解代谢和体重下降[20]。蛋白质能够刺激肌肉蛋白合成并抑制肌肉蛋白分解, 骨科手术后基于蛋白质的饮食干预被认为失用性肌萎缩的可行对策, 可以保护制动部位的肌肉质量和功能[13]。高剂量肌酸补充剂可防止制动引起的肌肉流失, 在长时间的主动康复期间, 补充肌酸可能有助于骨骼肌质量和力量恢复[14][21]。Omega-3 多不饱和脂肪酸已被证明可分别减少肢体固定期间肌肉萎缩和缓解肌肉萎缩相关的线粒体功能障碍[22]。周永战等[8]研究指出, 维生素 E 可调节肌肉与蛋白水解有关的基因, 对制动部位的肌肉产生保护作用。

### 3.2.3. 康复训练

Koh 等[23]研究指出, 术前进行运动预康复对于预防三角肌萎缩有积极影响, 可以较大限度地减少肌肉萎缩, 维持患肢处于更佳的功能状态。手术治疗后, 肌肉电刺激以及物理治疗、康复锻炼已被引入以改善肌肉萎缩, 其中肌肉电刺激通过产生比随意运动更大的肌肉活动增加肌肉质量、提高肌肉力量以防止肌肉萎缩, 是一种安全有效的肌肉萎缩治疗选择[3]。

## 4. 内固定病人废用性肌萎缩的护理对策

### 4.1. 制动期间

#### 4.1.1. 运动意象训练

运动意象也称为心理意象或动觉意象, 表示在心理上模拟或排练动作而不进行身体表演的认知过程,

包括对运动动作的生动而详尽的心理描述的形成,整合了感觉、知觉和本体感觉方面[24]。Paravlic 等[25]一项系统评价肌力力量,与较低的脑力训练相比,训练期间更高强度的脑力劳动会产生更大的后续肌力增加。有研究指出,制动期间被试者通过运动意象使肌力下降减弱了大约一半,这可能是由于肌肉的自主神经激活增加或皮质脊髓抑制减少,护理人员可以考虑使用运动意象来保持力量,而不会使患肢承受过度的机械应力[26][27]。单独进行运动意向训练能够逐渐刺激肌力提升,有助于缓解三角肌萎缩、促进功能恢复,然而临床缺乏操作指导,仍需开展试验建立操作标准。

#### 4.1.2. 交叉教育训练

交叉教育训练是指当仅在身体的一侧进行抗阻训练时,不仅在受过训练的肢体中观察到肌肉力量增加,而且在对侧未受过训练的肢体中也观察到肌肉力量增加,这被称为力量的交叉教育[28]。Cuenca 等[29]研究表明,交叉教育训练有助于接受手术治疗的病人在围手术期间保持力量,健侧抗阻训练可以激发皮层兴奋和运动学习效果,促进患侧功能改善。Yildiz 等[30]研究表明,交叉教育训练主要机制是在大脑的运动区域诱导神经可塑性并增加对侧肢的神经驱动,对术后早期对三角肌力量损伤有保护作用,在这之后对三角肌的神经驱动增加亦可增强三角肌的肌力。尽管交叉教育训练易于操作,但目前缺少高质量随机对照试验,仍需在后续的研究为患者制定更加标准化的方案,以进一步验证交叉训练教育对改善三角肌萎缩的有效性。

### 4.2. 术后早期康复

#### 4.2.1. 神经肌肉电刺激

神经肌肉电刺激的作用机制是以受抑制的运动神经元池为目标,采用低频脉冲电流刺激神经或肌肉,使肌肉收缩进而达到治疗肌肉萎缩的目的[31]。Howard 等[13]研究指出,神经肌肉电刺激可以在废用性萎缩的肌肉中维持肌蛋白合成,并通过刺激肌肉收缩在肢体制动期间保持肌肉质量。杨梦璇等[32]研究进一步指出,神经肌肉电刺激可以减少肌肉萎缩过程中的分解代谢并促进肌肉蛋白的合成代谢。电针在促进肌肉横截面积恢复方面要优于被动牵伸运动,而电针结合被动牵伸运动则在促进萎缩肌肉的恢复方面有着更明显的作用,对于制动时间太久而出现废用性肌萎缩的患者,在早期无法进行主动活动或者不允许进行主动活动时,电针结合被动牵伸运动作为预防和治疗失用性肌萎缩的方法是一种安全、有效的护理措施[33]。神经肌肉电刺激可以刺激肌肉收缩而不会对关节造成额外的压力,使其成为关节疼痛或行动不便的人的理想选择,其中中频电刺激是目前治疗肩部肌肉萎缩和萎缩的最佳频率[3]。Lee 等[34]研究指出,在术后 24 小时对病人三角肌进行神经肌肉电刺激,能最大限度地减少不同肩部手术后的术后萎缩,并有利于肩部手术后的康复。神经肌肉电刺激是一种安全、有效的护理措施,且仪器便携、操作简单,同时有研究指出不同年龄的患者需要选择不同的电流频率以取得最佳治疗效果,再后续研究中仍需深入探索,为病人制定更具个性化的方案。

#### 4.2.2. 血流限制训练

血流限制训练是在四肢部位使用某些特殊加压装置来限制血液从收缩的肌肉中流出,越来越多的证据表明,血流限制训练与低负荷抗阻训练的结合可以发挥促进肌肉质量增加和增强肌肉力量的效果[35]。逯莉莉等[36]研究指出血流限制训练结合有氧运动可以促进肌肉肥大、提升肌肉功能,对于老年人,血流限制训练有可能实现预防、治疗甚至扭转的制动引起的失用性萎缩。Mcginiss 等[37]研究指出,术后进行血流限制训练的参与者在肩部力量和自我报告功能方面观察到具有统计学意义和临床意义的改善。Slysz 等[38]研究指出,血流限制训练结合神经肌肉电刺激治疗在肢体废用期间完全保留了骨骼肌质量,但血流限制训练结合神经肌肉电刺激治疗在肢体废用期间并没有保持肌肉力量。因此,临床应考虑将血

流限制训练作为辅助训练, 与其他方式结合以达到更佳的效果, 进一步验证血流限制训练对治疗三角肌萎缩的效果。

#### 4.2.3. 抗阻训练

抗阻运动是指肌肉在克服外来阻力时进行的主动运动, 能恢复和发展肌力, 广泛用于各种原因所致的肌肉萎缩。有研究指出, 与年轻人不同, 增加抗阻训练的负荷并不能改善老年人蛋白质平衡或促进萎缩肌肉的恢复, 反而会损害肌肉, 表现出更严重的肌肉损伤, 导致恢复时间延长, 老年人应考虑使用低负荷抗阻训练来改善临床重要结局[11] [39]。Marshall 等[40]研究进一步表明, 低负荷抗阻训练与高负荷抗阻训练可诱导类似的肌肉和力量增加, 低负荷抗阻训练可能通过最大限度地提高益处和安全性, 同时最大限度地减少参与障碍来使老年人受益。此外, 抗阻训练与适当的营养干预如蛋白质、肌酸、omega-3 相结合, 可能会加速从萎缩中恢复[41]。有研究表明, 尽管老年人在术后进行了积极的抗阻训练, 但停止训练一段时间后仍有几率发生不可逆的肌肉萎缩, 虽然支持这种不可逆的骨骼肌失用性萎缩机制尚不确定, 但定期进行以抗阻训练为重点的康复有利于促进萎缩的肌肉恢复[14]。目前国内研究中抗阻训练多以上肢康复操为主, 对于抗阻训练频率以及持续关注的时间仍然不足[42], 后续研究应确保抗阻训练的周期化、长期化并提供合理的营养支持。

#### 4.2.4. 有氧运动

有氧运动是指在运动过程中主要以有氧代谢提供能量的运动方式, 是全身大肌群参与的持续时间较长的运动, 运动过程中所需的能量由能源物质氧化来供给。研究指出有氧运动在维持衰老骨骼肌的最大摄取氧气的能力和细胞稳态方面起着至关重要的作用, 长期、科学的有氧运动可以增加骨骼肌毛细血管密度、促进骨骼肌中营养物质的运输与利用, 从而有利于肌原纤维蛋白合成和提高肌肉质量, 对于老年人来说, 有氧运动是一种较为推荐的运动方式[43] [44]。杨建军等[45]研究显示, 有氧运动不仅能够改善肌肉萎缩, 对于单收缩力、强直收缩力和抗疲劳能力也有明显提高。Yang 等[46]研究进一步表明有氧运动可以改善患者的肩关节屈曲、外展、内旋和外旋, 但对肩关节伸展活动度无显著影响, 可能是由于肩部屈曲、外展、内旋和外旋的运动在运动和日常活动中更为常见, 而肩部伸展动作较少。有研究指出, 有氧运动与抗阻运动、主动运动与被动运动相结合, 可以提高不同康复阶段患者的锻炼依从性, 更好地改善患者肩部活动障碍, 增加肩活动范围[47]。护理人员应考虑将有氧运动与抗阻运动、主动运动与被动运动相结合, 以保证肩部全方位的活动度改善。

#### 4.3. 居家期间

除了肌肉质量和功能的相对衰退外, 与年轻人相比, 老年人从废用引起的肌肉萎缩中恢复的能力有所下降。尽管进行了有针对性地恢复锻炼, 包括下床运动、力量测试课程和阻力锻炼计划, 但老年人无法或需要更长的时间才能完全恢复萎缩的肌肉[20]。对于那些手术治疗后无法立即进行康复训练的老年人来说, 手术间期促进高习惯性活动锻炼可能是一种经济有效的解决方案[48]。有研究发现, 失用性萎缩后很大一部分肌肉质量恢复是由重负荷诱导的, 而非慢性阻力训练诱导的, 因此, 恢复术前日常活动的针对性护理措施是失用性萎缩可行的护理策略, 在日常生活中增加上肢的负重促进三角肌体积恢复, 可有效降低肩袖组织的最大应力, 使应力分布更加均匀, 减轻肩袖组织的压力, 改善肩袖损伤的疼痛和功能并促进肩部的机械平衡[6] [49]。

#### 4.4. 取内固定术前预康复

尽管在临床上对取内固定术患者实施预康复锻炼存在一定困难, 但越来越多的研究表明手术之前进行一定的锻炼活动十分重要[50]。根据证据, 有氧运动型预康复, 尤其是高强度间歇训练, 考虑到时间效

率,可能是一种可行的方法,可以通过在不使用期间增加营养和氧气的供应来防止肌肉质量流失[51][52]。取内固定术前的抗阻运动会增加每日肌原纤维蛋白合成并防止在随后制动期间的肌肉体积减少[53]。Smeuninx 等[54]研究证明,制动前一天晚上进行一次单侧阻力运动,减轻了老年男性卧床 5 天后肌原纤维蛋白合成的下降和肌肉萎缩。长期有氧运动、抗阻运动以及联合运动可不同程度的预防骨骼肌萎缩,其中以抗阻运动防止制动所引起的骨骼肌功能下降以及质量减少的效果最为显著[55]。这些发现表明,术前短期的有氧运动和抗阻运动干预有可能支持患者在去内固定术围术期间保持肌肉质量。

## 5. 小结

肱骨干骨折是上肢常见的损伤,手术治疗是临床治疗肱骨干骨折的有效手段。手术后病人三角肌萎缩发生率较高,病人术后恢复效果不仅取决于手术是否成功,还与术后护理密切相关。肱骨干骨折手术治疗后患者三角肌萎缩受年龄、职业、旋转不良、疼痛、手术方式、营养补充、康复训练等多种因素的影响。改善三角肌萎缩的护理措施包括运动意象训练、交叉教育训练、抗阻训练、有氧训练等。未来需要加强骨科护士培训,转变医护人员和病人理念,加大早期康复宣传力度;在手术治疗,考虑病人年龄、身体素质、治疗过程等因素,选择恰当的干预技术进行康复护理干预。目前,相关研究缺乏多中心、大样本的随机对照研究,应开展更全面的调查性研究以及高质量的康复护理干预对照研究,从而制定科学、有效的方案,帮助患者早日恢复正常功能活动。

## 参考文献

- [1] Tecimel, O. (2021) The Comparison of Single Plate and Double Plate Fixation Methods for Treatment of Humeral Shaft Nonunions. *Joint Diseases and Related Surgery*, **32**, 67-74. <https://doi.org/10.5606/ehc.2021.74488>
- [2] 郭雲. 肱骨干骨折三种治疗方式的疗效分析[D]: [硕士学位论文]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2023.
- [3] Lee, J., Lee, S.H., Kim, H. and Chung, S.W. (2024) Effect of Electrical Muscle Stimulation on the Improvement of Deltoid Muscle Atrophy in a Rat Shoulder Immobilization Model. *Journal of Orthopaedic Research*, **42**, 2634-2645. <https://doi.org/10.1002/jor.25943>
- [4] Fuqua, J.D., Lawrence, M.M., Hettinger, Z., Borowik, A.K., Peelor, F.F., Confides, A.L., et al. (2022) Impaired Proteostasis, Not Protein Synthesis, Limits Recovery of Aged Skeletal Muscle after Disuse Atrophy. *The FASEB Journal*, **36**. <https://doi.org/10.1096/fasebj.2022.36.s1.r3524>
- [5] Wang, C., Ma, X., Liu, Q. and Dai, G. (2021) Postoperative Malrotation of Humerus Shaft Fracture Causes Degeneration of Rotator Cuff and Cartilage. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 18596. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-98040-6>
- [6] Wang, H., Chen, L., Xu, G. and Liu, H. (2024) Biomechanical Effects of Deltoid Muscle Atrophy on Rotator Cuff Tissue: A Finite Element Study. *Scientific Reports*, **14**, Article No. 17592. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-67368-0>
- [7] 胡庆奎, 李佳, 蔡贤华, 等. 不同运动方式对兔胫骨平台骨折术后腓肠肌的影响[J]. 中国矫形外科杂志, 2019, 27(12): 1122-1127.
- [8] 周永战, 陈佩杰, 郑莉芳, 等. 废用性肌萎缩的发生机制及治疗策略[J]. 中国康复医学杂志, 2017, 32(11): 1307-1313.
- [9] Liguori, S., Moretti, A., Toro, G., Arienti, C., Patrini, M., Kiekens, C., et al. (2024) Overview of Cochrane Systematic Reviews for Rehabilitation Interventions in Individuals with Upper Limb Fractures: A Mapping Synthesis. *Medicina*, **60**, Article 469. <https://doi.org/10.3390/medicina60030469>
- [10] Brook, M.S., Stokes, T., Gorissen, S.H.M., Bass, J.J., McGlory, C., Cegielski, J., et al. (2022) Declines in Muscle Protein Synthesis Account for Short-Term Muscle Disuse Atrophy in Humans in the Absence of Increased Muscle Protein Breakdown. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, **13**, 2005-2016. <https://doi.org/10.1002/jcsm.13005>
- [11] Hettinger, Z.R., Hamagata, K., Confides, A.L., Lawrence, M.M., Miller, B.F., Butterfield, T.A., et al. (2021) Age-related Susceptibility to Muscle Damage Following Mechanotherapy in Rats Recovering from Disuse Atrophy. *The Journals of Gerontology: Series A*, **76**, 2132-2140. <https://doi.org/10.1093/gerona/glab186>
- [12] Fuqua, J., Lawrence, M., Hettinger, Z., Borowik, A., Brecheen, P., Peelor, F., et al. (2023) Impaired Proteostatic Mechanisms Other than Protein Synthesis Limit Aged Skeletal Muscle Recovery after Disuse Atrophy. *Physiology*, **38**, Article ID: 5729708. <https://doi.org/10.1152/physiol.2023.38.s1.5729708>
- [13] Howard, E.E., Pasiakos, S.M., Fussell, M.A. and Rodriguez, N.R. (2020) Skeletal Muscle Disuse Atrophy and the

- Rehabilitative Role of Protein in Recovery from Musculoskeletal Injury. *Advances in Nutrition*, **11**, 989-1001. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa015>
- [14] McKendry, J., Coletta, G., Nunes, E.A., Lim, C. and Phillips, S.M. (2024) Mitigating Disuse-Induced Skeletal Muscle Atrophy in Ageing: Resistance Exercise as a Critical Countermeasure. *Experimental Physiology*, **109**, 1650-1662. <https://doi.org/10.1113/ep091937>
  - [15] Wang, C., Ma, X., Lu, L., Guo, Z. and Dai, G. (2022) A Finite Element Model of the Shoulder: Application to the Changes of Biomechanical Environment Induced by Postoperative Malrotation of Humeral Shaft Fracture. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **23**, Article No. 525. <https://doi.org/10.1186/s12891-022-05479-3>
  - [16] Karimi, D., Houkjaer, L., Skive, A., Holmenlund, C., Brorson, S., Viberg, B., et al. (2022) Exploring Patient Experiences after Treatment of Humeral Shaft Fractures: A Qualitative Study. *International Journal of Orthopaedic and Trauma Nursing*, **46**, Article ID: 100957. <https://doi.org/10.1016/j.ijotn.2022.100957>
  - [17] Nicolaci, G., Maes, V., Lollino, N. and Putzeys, G. (2022) How to Treat Proximal and Middle One-Third Humeral Shaft Fractures: The Role of Helical Plates. *Musculoskeletal Surgery*, **107**, 231-238. <https://doi.org/10.1007/s12306-022-00748-9>
  - [18] Song, H., He, T., Guo, H.Y., Li, Z., Wei, M., Zhang, C., et al. (2020) Locking Plates versus Locking Intramedullary Nails Fixation of Proximal Humeral Fractures Involving the Humeral Shaft: A Retrospective Cohort Study. *Medical Science Monitor*, **26**, e922598. <https://doi.org/10.12659/msm.922598>
  - [19] 刘硕. 交锁髓内钉与锁定钢板治疗肱骨干骨折的疗效分析[D]: [硕士学位论文]. 西宁: 青海大学, 2021.
  - [20] Nunes, E.A., Stokes, T., McKendry, J., Currier, B.S. and Phillips, S.M. (2022) Disuse-Induced Skeletal Muscle Atrophy in Disease and Nondisease States in Humans: Mechanisms, Prevention, and Recovery Strategies. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, **322**, C1068-C1084. <https://doi.org/10.1152/ajpcell.00425.2021>
  - [21] Mirzoev, T.M. (2020) Skeletal Muscle Recovery from Disuse Atrophy: Protein Turnover Signaling and Strategies for Accelerating Muscle Regrowth. *International Journal of Molecular Sciences*, **21**, Article 7940. <https://doi.org/10.3390/ijms21217940>
  - [22] Mcglory, C., Gorissen, S.H.M., Kamal, M., Bahniwal, R., Hector, A.J., Baker, S.K., et al. (2019)  $\omega$ -3 Fatty Acid Supplementation Attenuates Skeletal Muscle Disuse Atrophy during Two Weeks of Unilateral Leg Immobilization in Healthy Young Women. *The FASEB Journal*, **33**, 4586-4597. <https://doi.org/10.1096/fj.201801857rrr>
  - [23] Koh, F.H., Loh, C.H., Tan, W.J., Ho, L.M.L., Yen, D., Chua, J.M.W., et al. (2021) Structured Presurgery Prehabilitation for Aged Patients Undergoing Elective Surgery Significantly Improves Surgical Outcomes and Reduces Cost: A Non-randomized Sequential Comparative Prospective Cohort Study. *Nutrition in Clinical Practice*, **37**, 645-653. <https://doi.org/10.1002/ncp.10787>
  - [24] Almufareh, M.F., Kausar, S., Humayun, M. and Tehsin, S. (2023) Leveraging Motor Imagery Rehabilitation for Individuals with Disabilities: A Review. *Healthcare*, **11**, Article 2653. <https://doi.org/10.3390/healthcare11192653>
  - [25] Paravlic, A.H., Slimani, M., Tod, D., Marusic, U., Milanovic, Z. and Pisot, R. (2018) Effects and Dose-Response Relationships of Motor Imagery Practice on Strength Development in Healthy Adult Populations: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, **48**, 1165-1187. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0874-8>
  - [26] Spiering, B.A., Clark, B.C., Schoenfeld, B.J., Foulis, S.A. and Pasiakos, S.M. (2022) Maximizing Strength: The Stimuli and Mediators of Strength Gains and Their Application to Training and Rehabilitation. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **37**, 919-929. <https://doi.org/10.1519/jsc.0000000000004390>
  - [27] Lindsay, R., Spittle, S. and Spittle, M. (2023) Considering the Need for Movement Variability in Motor Imagery Training: Implications for Sport and Rehabilitation. *Frontiers in Psychology*, **14**, Article 1178632. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1178632>
  - [28] Song, J.S., Yamada, Y., Kataoka, R., et al. (2024) Cross-Education of Muscular Endurance: A Scoping Review. *Sports Medicine*, **54**, 1771-1783.
  - [29] Cuenca-Martínez, F., Angulo-Díaz-Parreño, S., Feijóo-Rubio, X., Fernández-Solís, M.M., León-Hernández, J.V., La Touch, E.R., et al. (2022) Motor Effects of Movement Representation Techniques and Cross-Education: A Systematic Review and Meta-Analysis. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, **58**, 94-107. <https://doi.org/10.23736/s1973-9087.21.06893-3>
  - [30] Yildiz, T.I., Turhan, E., Huri, G., Ocguder, D.A. and Duzgun, I. (2024) Cross-education Effects on Shoulder Rotator Muscle Strength and Function after Shoulder Stabilization Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, **33**, 804-814. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2023.10.037>
  - [31] 杨鑫, 李九群, 秦美容. 前交叉韧带重建术病人股四头肌萎缩影响因素及护理进展[J]. 护理研究, 2023, 37(12): 2203-2207.
  - [32] 杨梦璇, 黄维, 苏建华, 等. 神经肌肉电刺激治疗在加速重症监护病房患者康复方面的应用进展[J]. 中国康复医

- 学杂志, 2021, 36(3): 370-374.
- [33] 白震民, 王哲培, 郭明航, 等. 电针结合被动牵伸运动对废用性肌萎缩小鼠骨骼肌恢复的影响[J]. 针刺研究, 2020, 45(9): 720-725.
- [34] Lee, G.J., Cho, H., Ahn, B. and Jeong, H. (2019) Effects of Electrical Muscle Stimulation for Preventing Deltoid Muscle Atrophy after Rotator Cuff Repair: Preliminary Results of a Prospective, Randomized, Single-Blind Trial. *Clinics in Shoulder and Elbow*, **22**, 195-202. <https://doi.org/10.5397/cise.2019.22.4.195>
- [35] 陆锦华. 血流限制训练的效果、作用机制与实践策略[J]. 河北体育学院学报, 2020, 34(3): 77-84.
- [36] 逯莉莉, 桂沛君, 谢瑛, 等. 血流限制训练联合有氧运动的作用机制及其在康复领域的应用进展[J]. 中国康复医学杂志, 2023, 38(10): 1459-1463.
- [37] McGinniss, J.H., Mason, J.S., Morris, J.B., Pitt, W., Miller, E.M. and Crowell, M.S. (2022) The Effect of Blood Flow Restriction Therapy on Shoulder Function Following Shoulder Stabilization Surgery: A Case Series. *International Journal of Sports Physical Therapy*, **17**, 1144-1155. <https://doi.org/10.26603/001c.37865>
- [38] Slys, J.T., Boston, M., King, R., Pignatelli, C., Power, G.A. and Burr, J.F. (2020) Blood Flow Restriction Combined with Electrical Stimulation Attenuates Thigh Muscle Disuse Atrophy. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **53**, 1033-1040. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002544>
- [39] Grgic, J., Schoenfeld, B.J., Davies, T.B., Lazinica, B., Krieger, J.W. and Pedisic, Z. (2018) Effect of Resistance Training Frequency on Gains in Muscular Strength: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, **48**, 1207-1220. <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0872-x>
- [40] Marshall, R.N., Morgan, P.T., Smeuninx, B., Quinlan, J.I., Brook, M.S., Atherton, P.J., et al. (2022) Myofibrillar Protein Synthesis and Acute Intracellular Signaling with Elastic Band Resistance Exercise in Young and Older Men. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, **55**, 398-408. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000003061>
- [41] Abou Sawan, S., Nunes, E.A., Lim, C., McKendry, J. and Phillips, S.M. (2022) The Health Benefits of Resistance Exercise: Beyond Hypertrophy and Big Weights. *Exercise, Sport and Movement*, **1**, e00001. <https://doi.org/10.1249/esm.0000000000000001>
- [42] 范晓波, 姜艳萍, 张晓燕, 等. 上肢康复操在维持性血液透析患者中的应用研究[J]. 中华护理杂志, 2022, 57(21): 2572-2578.
- [43] 郭孝静, 王艳, 张立, 等. 基于线粒体质量控制探讨运动对骨骼肌萎缩的研究进展[J]. 中国比较医学杂志, 2024, 34(6): 144-150.
- [44] 赵亚男, 卢冬磊, 谭思洁. 运动干预老年人的肌少性肥胖[J]. 中国组织工程研究, 2025, 29(17): 3657-3667.
- [45] 杨建军. 有氧运动对尾部悬吊大鼠骨骼肌 Piezo1/PI3K/AKT/GSK3- $\beta$  通路的影响[D]: [硕士学位论文]. 成都: 成都体育学院, 2024.
- [46] Yang, Y., Gu, D., Qian, Y., Wang, H. and Chai, X. (2021) Effectiveness of Aerobic Exercise on Upper Limb Function Following Breast Cancer Treatment: A Systematic Review and Meta-analysis. *Annals of Palliative Medicine*, **10**, 3396-3403. <https://doi.org/10.21037/apm-20-2616>
- [47] 刘洁, 闫金凤, 韩鹏, 等. 不同康复疗法对颈淋巴结清扫术后患者颈肩功能影响的网状 Meta 分析[J]. 中华护理杂志, 2023, 58(14): 1704-1711.
- [48] Yoshihara, T. and Naito, H. (2020) Protective Effects of Acute Exercise Preconditioning on Disuse-Induced Muscular Atrophy in Aged Muscle: A Narrative Literature Review. *The Journal of Physiological Sciences*, **70**, Article No. 55. <https://doi.org/10.1186/s12576-020-00783-w>
- [49] Ato, S., Kido, K., Sase, K. and Fujita, S. (2020) Response of Resistance Exercise-Induced Muscle Protein Synthesis and Skeletal Muscle Hypertrophy Are Not Enhanced after Disuse Muscle Atrophy in Rat. *Frontiers in Physiology*, **11**, Article 469. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00469>
- [50] LeGood, N.L.M., Li, X., Ha, M. and Downer, J.D.R. (2024) Prehab? Rehab? Both? Exploring Interventions to Alleviate Disuse-Induced Muscle Atrophy and Anabolic Resistance in Older Adults. *The Journal of Physiology*, **602**, 995-996. <https://doi.org/10.1113/jp286231>
- [51] Clifford, K., Woodfield, J.C., Tait, W., Campbell, H.A. and Baldi, J.C. (2023) Association of Preoperative High-Intensity Interval Training with Cardiorespiratory Fitness and Postoperative Outcomes among Adults Undergoing Major Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *JAMA Network Open*, **6**, e2320527. <https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2023.20527>
- [52] Thomas, A.C.Q., Brown, A., Hatt, A.A., Manta, K., Costa-Parke, A., Kamal, M., et al. (2022) Short-Term Aerobic Conditioning Prior to Resistance Training Augments Muscle Hypertrophy and Satellite Cell Content in Healthy Young Men and Women. *The FASEB Journal*, **36**, e22500. <https://doi.org/10.1096/fj.202200398rr>
- [53] Jameson, T.S.O., Kilroe, S.P., Fulford, J., Abdelrahman, D.R., Murton, A.J., Dirks, M.L., et al. (2021) Muscle Damaging

- Eccentric Exercise Attenuates Disuse-Induced Declines in Daily Myofibrillar Protein Synthesis and Transiently Prevents Muscle Atrophy in Healthy Men. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, **321**, E674-E688. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00294.2021>
- [54] Smeuninx, B., Elhassan, Y.S., Sapey, E., Rushton, A.B., Morgan, P.T., Korzepa, M., *et al.* (2023) A Single Bout of Prior Resistance Exercise Attenuates Muscle Atrophy and Declines in Myofibrillar Protein Synthesis during Bed-Rest in Older Men. *The Journal of Physiology*, **603**, 87-105. <https://doi.org/10.1113/jp285130>
- [55] 黄雅廷, 傅力. 不同运动方式对废用性肌萎缩的防治效果及对 FOXO1/3a 的影响[C]//广州体育学院, 中国体育科学学会运动生理生化分会, 中国体育科学学会运动医学分会. 2022 年第七届广州运动与健康国际学术研讨会论文集. 2022: 2.