

# 手部精细肌群解剖特征与功能重建策略

薛国斌

西安培华学院 陕西西安 710000

**摘要:** 手部精细肌群是完成抓握、捏持及精细操作等复杂功能的核心结构,其解剖组成涵盖内在肌群与外在肌群两大系统,二者通过腱性结构与神经协同运作。内在肌群包括蚓状肌、骨间肌及鱼际、小鱼际肌群,外在肌群则通过指屈肌腱与指伸肌腱的精密滑动机制实现远端关节的精准控制。手部精细肌群的损伤常继发于周围神经损伤、肌腱断裂或缺血性挛缩,导致不同程度的功能障碍,严重影响患者的日常生活与劳动能力。针对上述损伤,功能重建策略涵盖肌腱转位与移植、周围神经修复与神经化重建,以及基于神经可塑性理论的系统性康复训练。本文系统梳理手部精细肌群的解剖学特征、损伤评估体系及功能重建策略,旨在为临床诊疗提供理论参考。

**关键词:** 手部精细肌群;肌腱转位;周围神经修复;功能重建;神经可塑性

## 引言

手是人体功能最为复杂、精细程度最高的运动器官,其精细操作能力依赖于内在肌群与外在肌群之间高度协调的神经肌肉控制机制。手部精细肌群结构紧凑、功能分工明确,任何局部解剖结构的破坏均可引发连锁性功能障碍,轻则影响捏持与书写等日常动作,重则导致手部功能的完全丧失。随着工业生产、交通事故及运动损伤发生率的持续上升,手部肌腱断裂、周围神经损伤及缺血性肌挛缩等病例日趋增多,手部功能重建已成为骨科与手外科领域的重要临床课题。近年来,显微外科技术的进步、神经再生研究的深入以及康复医学理念的更新,为手部精细肌群功能重建提供了更为丰富的技术手段与理论支撑,但如何在准确把握解剖学基础的前提下制定个体化重建方案,仍是临床实践中面临的核心挑战。因此,系统认识手部精细肌群的解剖特征、建立科学的损伤评估体系、优化功能重建策略,对于提升手外科临床疗效具有重要的现实意义。

## 一、手部精细肌群的解剖学基础

### (一) 内在肌群的解剖结构与分布特征

手部内在肌群是指起止点均位于手部的肌肉,主要包括鱼际肌群、小鱼际肌群、蚓状肌及骨间肌四大组成部分。鱼际肌群由拇短展肌、拇短屈肌、拇对掌肌及拇收肌构成,主要负责拇指的外展、屈曲、对掌及内收运动,是完成捏持与对指动作的核心肌群。拇收肌由尺神经深支支配,其余则由正中神经返支支配。小鱼际肌群

包括小指展肌、小指短屈肌及小指对掌肌,负责小指的外展、屈曲与对掌,由尺神经深支支配。蚓状肌共四块,起自指深屈肌腱桡侧,止于伸肌腱帽,具有屈曲掌指关节同时伸展指间关节的独特功能,桡侧两块由正中神经支配,尺侧两块由尺神经支配。骨间肌分为掌侧骨间肌与背侧骨间肌,前者负责手指内收,后者负责手指外展,均由尺神经深支支配,二者与蚓状肌共同构成手内在肌的精细协调系统,对手指侧方稳定性及精细运动控制起关键作用。

### (二) 外在肌群的腱性连接与生物力学机制

手部外在肌群起源于前臂,通过长腱延伸至手指,分为屈肌系统与伸肌系统两大部分,二者在腱性结构与滑动机制上各具特点。屈肌系统以指浅屈肌腱与指深屈肌腱为核心,二者在腱鞘内平行走行,指浅屈肌腱在近节指骨水平分叉形成Camper交叉,包绕指深屈肌腱后止于中节指骨,负责近侧指间关节屈曲;指深屈肌腱穿越分叉后止于远节指骨基底,控制远侧指间关节屈曲。腱鞘内的滑车系统,尤其是A2与A4滑车,对维持肌腱的力学效率至关重要,滑车损伤可导致肌腱弓弦效应,显著降低屈指力量。伸肌系统结构更为复杂,指伸肌腱在掌指关节背侧扩展形成伸肌腱帽,并接受蚓状肌与骨间肌的侧腱束汇入,三束腱性结构在近节指骨背侧汇合后分为中央束与两条侧束,中央束止于中节指骨背侧,侧束在远节指骨水平汇合止于末节指骨,形成精密的腱性网络。这一结构决定了手指伸展运动的协调性,任何节点的损伤均可引发特征性畸形,如钮孔畸形或锤状指,

深刻体现了外在肌群腱性连接的生物力学精密性<sup>[1]</sup>。

## 二、手部精细功能的损伤评估体系

### (一) 精细肌群损伤的分类与病理机制

手部精细肌群损伤的分类可从损伤性质、解剖层次及病理机制三个维度加以界定。按损伤性质可分为开放性损伤与闭合性损伤，前者多见于切割伤、撕脱伤及机器绞伤，后者常继发于骨折脱位、慢性劳损或缺血性病损。按解剖层次可分为肌腱损伤、肌肉损伤及神经肌肉复合损伤，其中肌腱断裂是最常见的类型，依据Verdan分区系统可将屈肌腱损伤划分为五个区域，不同区域的损伤在修复难度与预后方面存在显著差异，尤以II区损伤因腱鞘狭窄、双腱并行而修复最为复杂。缺血性肌挛缩是另一类重要的病理机制，以Volkman挛缩为代表，骨筋膜室综合征若处理不及时，前臂屈肌群发生缺血坏死纤维化，最终导致手指屈曲挛缩畸形，手内在肌挛缩则表现为掌指关节屈曲、指间关节伸直的特征性姿势。周围神经损伤所致的内在肌瘫痪是精细功能障碍的另一重要来源，正中神经损伤导致鱼际肌萎缩与对指功能丧失，尺神经损伤则引发骨间肌与蚓状肌瘫痪，出现爪形手畸形，二者的病理机制与功能缺损模式各有特点，直接决定后续重建方案的选择方向<sup>[2]</sup>。

### (二) 神经-肌肉功能障碍的临床评估方法

手部神经肌肉功能障碍的临床评估需综合运用病史采集、体格检查及功能量表，以全面反映损伤程度与功能缺损范围。体格检查是评估的基础，针对内在肌功能可通过Froment征检测拇收肌功能，通过夹纸试验评估骨间肌肌力，通过对指试验与拇指对掌功能检查评估鱼际肌群完整性；针对外在肌功能则需分别检查指浅屈肌与指深屈肌的独立屈曲能力，以及伸肌腱各束的连续性。感觉功能评估同样不可忽视，两点辨别觉测定是评价正中神经与尺神经感觉支配区功能的标准方法，Semmes-Weinstein单丝测试可进一步量化感觉阈值变化。手部功能量表方面，Michigan手功能问卷、Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand量表及手部功能指数等工具被广泛用于评估患者主观功能状态与生活质量。握力与捏力的定量测定则通过Jamar握力计与捏力计完成，为肌力恢复程度提供客观数据支撑。上述多维度评估方法的综合应用，有助于准确定位功能障碍的解剖层次，为制定个体化重建方案提供可靠依据。

### (三) 影像学与电生理检测技术的应用

影像学及电生理检测技术是手部精细肌群损伤评估

体系的重要组成部分，二者相互补充，分别从形态学与功能学角度提供客观诊断依据。超声检查因其实时动态、无辐射及高软组织分辨率的优势，已成为肌腱损伤评估的首选影像学工具，高频超声可清晰显示肌腱连续性、腱鞘积液及滑车完整性，动态超声还可在主动屈伸运动中观察肌腱滑动状态，对部分断裂与粘连的鉴别具有重要价值。磁共振成像在评估肌肉萎缩、脂肪浸润及神经卡压方面具有独特优势，弥散张量成像技术的引入进一步实现了周围神经纤维束的可视化追踪，为神经损伤程度的判断提供了新的影像学维度。电生理检测方面，肌电图与神经传导速度测定是评估周围神经损伤程度与再生状态的金标准，失神经支配肌肉的自发电位、运动单位电位形态及募集模式的变化可准确反映神经肌肉接头的功能状态，对判断神经损伤级别、预测再生潜力及指导手术时机具有不可替代的临床价值<sup>[3]</sup>。近年来，高密度表面肌电图技术的发展使得多块肌肉的协同激活模式得以同步记录，为手部精细运动控制的功能评估开辟了新的研究方向。

## 三、手部精细肌群功能重建策略

### (一) 肌腱转位与移植的手术重建技术

肌腱转位与移植是手部精细肌群功能重建的核心手术技术，适用于肌腱缺损、肌肉不可逆瘫痪、神经损伤无法恢复支配等情况。肌腱转位的基本原则是将功能正常的供体肌腱重新定向，替代已丧失功能的靶肌腱，供体肌腱的选择需满足肌力足够、走行方向合理、牺牲后不产生明显功能缺损等条件。针对正中神经损伤所致的拇指对掌功能丧失，对掌重建术是最具代表性的肌腱转位手术，常用供体包括指浅屈肌腱、尺侧腕伸肌腱及掌长肌腱，其中以环指指浅屈肌腱转位的Bunnell术式应用最为广泛，通过豌豆骨处的滑车改变力线方向，重建拇指外展对掌功能。针对尺神经损伤所致的爪形手畸形，内在肌功能重建可采用指浅屈肌腱分叉转位至伸肌腱帽的Zancolli套索术，或采用Brand术式将桡侧腕长伸肌腱通过掌长肌腱移植延长后转位至蚓状肌止点，恢复掌指关节屈曲与指间关节伸展的协调运动<sup>[4]</sup>。肌腱移植则适用于肌腱缺损较大无法直接修复的情况，常用供体为掌长肌腱、跖肌腱及趾长伸肌腱，移植腱的张力调节是影响术后功能的关键因素，需在术中精确设定以确保各指屈伸平衡<sup>[5]</sup>。

### (二) 周围神经修复与神经化重建策略

周围神经修复是恢复手部精细肌群神经支配、实现

功能性重建的根本途径，其策略的选择取决于神经损伤的程度、缺损长度及损伤后时间窗。对于新鲜神经断裂且无缺损的病例，显微外科直接缝合仍是首选方案，端端吻合时需在无张力条件下精确对合神经束膜，以减少轴突再生的迷向率。当神经缺损超过2厘米时，需采用神经移植桥接修复，自体腓肠神经因其直径适宜、取材方便且供区损伤小，长期以来是神经移植的金标准供体；对于多段缺损或不愿接受供区损伤的患者，同种异体神经移植结合短期免疫抑制方案提供了可行的替代选择。神经导管技术适用于短段缺损，生物可降解导管内填充神经生长因子、施万细胞或细胞外基质成分可进一步促进轴突再生。对于神经损伤时间较长、靶肌肉已发生不可逆萎缩的病例，神经化重建策略更具现实意义，端侧神经吻合与神经转位技术通过借用邻近功能正常的神经分支为靶神经提供再生来源，其中以桡神经浅支转位修复正中神经、骨间前神经转位修复尺神经深支等术式在临床中取得了较为满意的疗效。近年来，超声引导下的神经松解与靶肌肉神经再支配理念的引入，进一步拓展了周围神经功能重建的技术边界。

### （三）康复训练与神经可塑性促进方案

手部精细肌群功能重建的最终效果高度依赖术后系统性康复训练的质量，而神经可塑性理论的深入发展为康复方案的设计提供了重要的神经科学依据。术后早期康复以保护修复结构、预防粘连为核心目标，肌腱修复术后的控制性早期活动方案，如Kleinert被动屈曲主动伸展方案与Duran被动活动方案，已被证实能够显著降低腱鞘粘连发生率，改善肌腱滑动功能。神经修复术后的康复则需遵循神经再生的时间规律，在感觉再支配出现之前以感觉脱敏与代偿性感觉训练为主，再支配出现后逐步引入感觉再教育训练，通过反复的触觉辨别练习促进大脑皮层感觉区的功能重组。运动功能重建方面，镜像疗法与运动想象训练通过激活镜像神经系统，在外周神经尚未完全再生的阶段维持中枢运动程序的活跃状态，延缓皮层运动区的功能退化。任务导向性训练以日常生活中的精细操作任务为训练载体，通过重复性、目标导向性的练习强化神经肌肉协调控制，促进功能性动作模式的重建。近年来，虚拟现实技术与肌电生物反馈

系统的引入为康复训练提供了更为精准的实时反馈手段，结合经颅磁刺激等神经调控技术，构建了以神经可塑性为核心的多模态康复促进体系，为手部精细功能的最大化恢复提供了新的技术路径。

### 结论

手部精细肌群的功能重建是一项涵盖解剖学、神经科学、显微外科与康复医学的综合性临床课题。深入理解内在肌群与外在肌群的解剖特征及生物力学机制，是制定合理重建方案的前提基础；建立系统、客观的损伤评估体系，有助于准确判断功能缺损的性质与程度，为手术决策提供可靠依据；而肌腱转位与移植、周围神经修复与神经化重建，以及基于神经可塑性的系统性康复训练三者的有机整合，构成了当前手部精细功能重建的核心策略框架。随着显微外科技术的持续进步、神经再生基础研究的深入以及数字化康复手段的广泛应用，手部精细肌群功能重建的临床疗效将得到进一步提升，未来研究应着力于优化个体化重建方案的制定标准，探索生物材料与组织工程技术在神经肌腱修复中的应用潜力，以期手部功能障碍患者提供更为精准、高效的治疗选择。

### 参考文献

- [1] 孟伟, 朱伟, 易传军, 等. 掌长肌移位伸拇功能重建的解剖学研究与应用[J]. 中华手外科杂志, 2008, 24(1): 3.
- [2] 王强, 王春霖, 董丽琨, 等. 手指皮系韧带结构体系解剖研究[J]. 中华解剖与临床杂志, 2024, 29(5): 316-321.
- [3] 陈琳, 彭峰, 陈德松. 肱三头肌长头重建肩外展的解剖与临床应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2001, 15(4): 3.
- [4] 佚名. 2010年“手功能重建微创外科解剖学高级教程”与“首届海峡两岸手功能重建高峰论坛”通知[J]. 中华显微外科杂志, 2010(2): 1.
- [5] 佚名. 手功能重建皮瓣解剖学高级教程通知[J]. 中国临床解剖学杂志, 2013, 31(2): 1.