

肌肉如何工作以及如何愈合

本页面由机器翻译，尚未经临床医生审核。**英文版本**为权威版本。

肌肉是身体的引擎：它们将大脑的指令转化为运动和力量，并构成体重的很大一部分。与软骨不同，肌肉拥有真正的自我修复甚至重建能力，这得益于其储备的专职干细胞。但修复能力存在局限：轻微拉伤可以良好愈合，而大面积撕裂或长期未处理的损伤则可能以瘢痕形式愈合，且无法完全恢复。本页以通俗语言解释肌肉的结构及其愈合机制；随后，为满足求知欲，进一步深入探讨肌肉收缩的机制，以及为何某些损伤会留下持久性无力。

肌肉是什么及其功能

肌肉是由许多长而线状的细胞（肌纤维）紧密聚集而成的束，其结构类似于绳索的股线，并通过肌腱锚定在骨骼上。当大脑通过神经发送信号时，肌纤维会缩短，牵拉肌腱并带动关节运动。这就是肌肉的全部功能：将电信号和化学能转化为拉力。

肌肉血供丰富，因此撕裂时会出血和淤青，但也正因如此，其愈合能力远优于血供较差的组织（如软骨）。

肌肉如何愈合

拉伤或撕裂后，肌肉的愈合过程分为重叠的阶段：

- 1. 出血与炎症（最初几天）。** 受伤部位出血并肿胀；清除细胞开始介入。这是疼痛和淤青的阶段。
- 2. 再生（最初几周）。** 储备干细胞被激活，构建新的肌纤维以填补空缺（真正的新肌肉，而非仅仅是瘢痕）。
- 3. 重塑（数周至数月）。** 新肌纤维逐渐成熟，并在功能使用中重新排列，力量随之逐步恢复。

关键在于，再生与瘢痕形成之间存在竞争。小而整齐的伤害再生良好。而大面积撕裂会以比新肌肉形成更快的速度沉积纤维性瘢痕（有时还有脂肪），且瘢痕比肌肉更弱、弹性更差。这就是为什么大面积撕裂或延误治疗的撕裂可能导致永久性肌力减弱。

什么有助于肌肉恢复

- **早期、渐进性活动。** 轻柔活动随后逐步增加负荷，可引导新肌肉重建并对齐；长期完全制动会导致肌肉萎缩和僵硬。
- **早期避免过度用力。** 对新鲜撕裂处施加过大负荷会导致再次损伤并促进瘢痕形成。
- **良好的全身健康状况。** 充足的蛋白质摄入、戒烟以及良好控制的糖尿病均有助于修复。
- **及时修补重大撕裂。** 某些完全性撕裂（例如某些肌腱-肌肉断裂）在肌肉回缩和萎缩之前及时修补效果最佳。

更深入的了解

本节将提供更详细、适合学生水平的解释。了解肌肉损伤并不需要这些内容，但如果您对肌肉究竟如何产生力量以及为何某些损伤无法完全康复感兴趣，请继续阅读。

肌肉作为活体组织

整块肌肉构建为一个**层级**结构，犹如缆绳中的缆绳：肌肉包含由长**肌纤维**组成的束（肌束），每根肌纤维是一个巨大的单细胞，内部充满线状的**肌原纤维**，而每根肌原纤维是由称为**肌节**的微小收缩单元组成的链。肌节是产生力量的部位。它是两种交错排列的丝状结构的精确重复排列：由称为**肌球蛋白**的蛋白质组成的粗丝和由**肌动蛋白**组成的细丝。

每根肌纤维属于一个**运动单位**：一个神经细胞及其控制的所有肌纤维。精细运动（如手部运动）使用小型运动单位；强力运动则使用大型运动单位。肌纤维还具有不同类型：**慢缩型**（抗疲劳，用于耐力和姿势维持）和**快缩型**（力量大但易疲劳）。

肌肉如何收缩

收缩是一种**滑动丝**机制。当神经信号到达**神经肌肉接头**（神经与肌肉相遇的突触；参见**神经工作原理**）时，它会释放一种化学物质，使肌纤维产生自身的电冲动。该冲动触发肌纤维内**钙**的大量释放，从而暴露肌动蛋白丝上的结合位点。随后，肌球蛋白头部抓住肌动蛋白并将其向内拉动（如同拔河团队手拉手拉绳），使粗丝和细丝相互滑动，肌节缩短。数十亿个肌节同时发生这种变化，整个肌肉便发生收缩。这一切都依赖于**ATP**（三磷酸腺苷），即细胞的能量货币；当ATP不足时，肌肉就会疲劳。

肌肉如何愈合：卫星细胞与瘢痕

肌肉修复的秘诀在于**卫星细胞**，这是一种紧贴每个肌纤维的储备干细胞。受伤后，卫星细胞被激活、增殖，并融合形成新的肌纤维。愈合过程分为三个阶段：**破坏期**（出血和炎症）、**再生期**（卫星细胞重建肌纤维）和**重塑期**（新肌纤维在负荷作用下成熟）。

然而，再生过程与**纤维化**处于拉锯状态。炎症和信号分子，尤其是名为**TGF-β1**的分子，驱动成纤维细胞沉积胶原瘢痕。在小损伤中，再生占上风；在大损伤或反复损伤中，瘢痕（有时包括脂肪）占上风，形成的组织在力学性能上劣于真正的肌肉。这就是为什么严重肌肉损伤无法完全恢复的原因。

脂肪浸润与肩袖

这一现象在肩部的**肩袖**中具有重要的临床意义。当肩袖肌腱撕裂且未予处理时，附着的肌肉会逐渐回缩、萎缩，并被脂肪组织取代（即脂肪浸润）。即使后续进行肌腱修复，这种脂肪浸润和萎缩性改变也大多不可逆，而已经退变的肌肉永远无法完全恢复其力量。这也是外科医生重视某些肌腱修复时机的主要原因之一：在肌肉发生退变之前进行修复，可获得远为更好的效果。

用进废退：萎缩与适应

肌肉会不断根据需求进行调整。逐步增加负荷，肌肉会**肥大**：肌纤维增大并增强（卫星细胞提供细胞核以支持更大的肌纤维）。减少负荷（如卧床休息、石膏固定或神经切断）会导致肌肉迅速**萎缩**，在数周内失去体积和力量。与神经失去联系的肌肉（**去神经支配**）萎缩最快，如果神经未能及时恢复，肌肉最终将被脂肪和纤维组织取代。这就是为什么康复以及在恢复期间保持肌肉活动如此重要的原因。

有助于和损害肌肉愈合的因素

- **渐进性负荷**是再生和重新排列的关键刺激；过早或过度的负荷会导致再次撕裂和瘢痕形成。
- **血液供应**在肌肉中良好，这就是为什么肌肉比软骨或肌腱内部愈合得更好的原因。
- **吸烟、糖尿病、衰老和皮质类固醇**会损害修复并加速肌肉萎缩。
- **时间和损伤的大小**决定了恢复的极限：轻微拉伤可完全恢复；严重撕裂和退行性变肌肉则不能。

参见

- **神经的工作原理与愈合过程** — 驱动肌肉的神经和运动终板
- **肌腱的工作原理与愈合过程** — 肌肉拉力如何传递至骨骼
- **吸烟对肌肉骨骼愈合的影响** — 为何吸烟会延缓肌肉修复