

肌肉如何运作与愈合

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。

肌肉是人体的引擎：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，肌肉具有真正的自我修复甚至自我重建的能力，这得益于其储备的专用干细胞。但这种修复存在局限：轻微拉伤愈合良好，而大面积撕裂或长期未处理的损伤可能伴随瘢痕愈合，且无法完全恢复。本页以通俗语言解释肌肉是什么以及它如何修复；随后，为供深入探究，进一步阐述肌肉实际收缩的机制，以及为何某些损伤会留下持久的肌力减弱。

肌肉是什么及其功能

肌肉是由大量细长的线状细胞（肌纤维）紧密排列而成的束状结构，其排列方式类似绳索的股线，并通过肌腱锚定在骨骼上。当大脑沿神经发送信号时，肌纤维缩短，牵拉肌腱并带动关节运动。这就是其全部功能：将电信号和化学能转化为拉力。

肌肉的血供丰富，因此撕裂时会出血和淤青，但这也使其比血供较差的组织（如软骨）具有更强的愈合能力。

肌肉如何愈合

在拉伤或撕裂后，肌肉愈合经历相互重叠的阶段：

1. **出血与炎症（最初几天）**。损伤部位出血并肿胀；清理细胞迁入。这是疼痛和瘀伤阶段。
2. **再生（最初几周）**。储备干细胞被激活，构建新的肌纤维以桥接间隙（真正的肌肉新生，而不仅仅是瘢痕）。
3. **重塑（数周至数月）**。新纤维成熟并随使用重新排列，力量逐渐恢复。

关键在于再生与瘢痕形成之间存在竞争。小而干净的损伤再生良好。大的撕裂会形成纤维性瘢痕（有时还有脂肪），其速度快于新肌肉的形成，且瘢痕比肌肉更弱、弹性更差。这就是为什么大的撕裂以及拖延过久的撕裂可能导致永久性肌力减弱。

促进肌肉恢复的因素

- **早期、分级运动。** 轻柔活动及随后的渐进性负荷可引导新肌肉重建并对齐；长期完全静止会导致肌肉萎缩和僵硬。
- **早期避免过度用力。** 对新鲜撕裂施加过大的负荷会导致再损伤并促进瘢痕形成。
- **良好的整体健康状况。** 充足的蛋白质摄入、不吸烟以及良好的糖尿病控制均支持修复过程。
- **大撕裂的及时治疗。** 某些完全撕裂（例如特定的肌腱-肌肉断裂）在肌肉回缩和萎缩之前及时修复效果最佳。

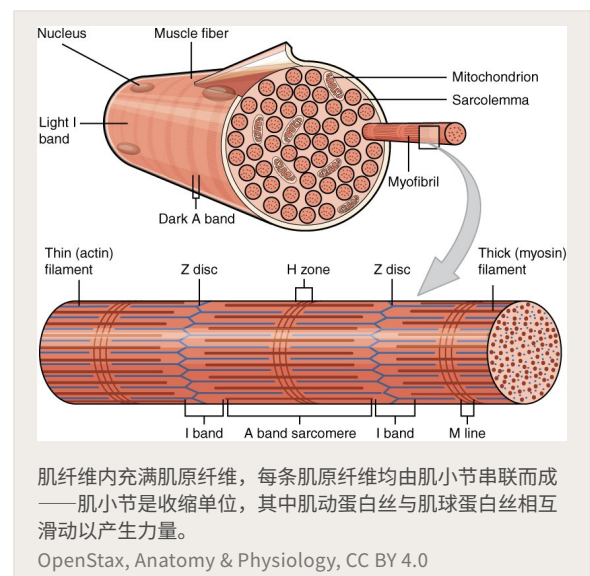
深入探讨

本节将提供更具深度、面向学生水平的详细解释。理解肌肉损伤并不需要这部分内容，但如果您好奇肌肉究竟如何产生力量，以及为何某些损伤无法完全恢复，请继续阅读。

肌肉作为活组织

整块肌肉构建为一个**层级结构**，如同电缆中的电缆：肌肉包含由**长肌纤维**组成的束（肌束），每条纤维是一个充满**线状肌原纤维**的大型单细胞，而每条肌原纤维是由称为**肌节**的微小收缩单元组成的链。肌节是产生力的地方。它是两种交错排列的丝状结构的精确重复排列：由一种名为**肌球蛋白**的蛋白质组成的粗丝和由**肌动蛋白**组成的细丝。

每条纤维属于一个**运动单位**：一个神经细胞及其控制的所有肌纤维。精细动作（如手部动作）使用小型运动单位；强力动作使用大型运动单位。纤维也分为不同类型：**慢肌纤维**（抗疲劳，用于耐力和姿势维持）和**快肌纤维**（力量强大但易疲劳）。



肌肉如何收缩

收缩是**滑动丝**机制。当神经信号到达**神经肌肉接头**（神经与肌肉交汇处的突触；参见**神经如何工作**）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棘轮式拉动（如同拔河队伍手拉手拉绳），使粗丝和细丝相互滑动，肌节缩短。将这一过程乘以数十亿个肌节，整个肌肉便收缩。这一切都依靠**ATP**（细胞的能量货币）运行；当ATP耗尽时，肌肉会疲劳。

肌肉如何愈合：卫星细胞与瘢痕

肌肉修复的关键在于**卫星细胞**，这是一种储备干细胞，紧贴于每根肌纤维旁。损伤后，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）以及**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**之间存在博弈。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蛋白形成瘢痕。在轻微损伤中，再生占优。而在严重或反复损伤中，瘢痕（有时还有脂肪）占优，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得到处理时，附着其上的肌肉会逐渐回缩、萎缩，并被脂肪取代（即脂肪浸润）。这种脂肪化、萎缩性改变在很大程度上是不可逆的，即使后期修复了肌腱，已退化的肌肉也永远无法完全恢复其力量。这也是外科医生关注某些肌腱修复时机的主要原因之一：在肌肉发生退化之前进行修复，能获得远为更好的效果。

用进废退：萎缩与适应

肌肉会持续适应需求。若逐步增加负荷，肌肉将**肥大**：肌纤维增粗并增强（卫星细胞提供细胞核以支持更大的肌纤维）。若解除负荷（卧床休息、石膏固定或神经切断），肌肉会迅速**萎缩**，数周内丧失体积和力量。与神经断离（**去神经支配**）的肌肉萎缩速度最快，若神经未能及时恢复，肌肉最终将被脂肪和纤维组织取代。这就是为什么在康复过程中进行康复训练并保持肌肉活动至关重要。

促进与损害肌肉愈合的因素

- **分级负荷**是再生与重新排列的关键刺激；过早施加过大负荷会导致再撕裂和瘢痕形成。
- **血液供应**在肌肉中良好，因此其愈合效果优于软骨或肌腱内部。
- **吸烟、糖尿病、衰老和皮质类固醇**会损害修复过程并加速肌肉萎缩。
- **时间和损伤大小**决定了恢复上限：轻微拉伤可完全恢复；而大型撕裂和退变肌肉则无法恢复。

另请参阅

- **神经如何工作与愈合** — 驱动肌肉的神经和运动终板
- **肌腱如何工作与愈合** — 肌肉的拉力如何传递至骨骼
- **吸烟与肌肉骨骼愈合** — 为何吸烟会延缓肌肉修复