
细胞“松”了？科学家发现“震一震”能使骨骼“重返青春”

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：<https://www.iikx.com/news/progress/37951.html>

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

细胞“松”了？科学家发现“震一震”能使骨骼“重返青春”。在人类与衰老的漫长博弈中，骨骼常常是最先发出警报的哨兵。骨质疏松、骨密度下降、骨折风险增高……长久以来，针对骨骼老化的干预策略多聚焦于药物、激素或基因层面，却忽略了生命体一个更为基础、却也更为根本的维度——力。

近日，四川大学高分子科学与工程学院研究员魏强、华西口腔医院研究员廖立发现，衰老的骨髓间充质干细胞（BMSCs）如同筋疲力尽的机械工人，其内在应力纤维骨架牵引力显著下降，机械信号转导失调。

同时，研究者认为，要是通过一种精准调控的温和机械刺激，就能重启这些细胞的力学程序，逆转其衰老表征。这一系列返老还童效应的核心开关，与一个经典的抗衰老基因FOXO1的染色质可及性又紧密相连。

相关成果于1月13日在线发表于《自然-通讯》。

细胞给力撑起抗衰老基因

骨髓间充质干细胞是储备在骨髓里具有修复功能的一类细胞，是维持骨骼年轻和健康状态的关键。

魏强团队研究源于五年前的一次实验观察，他们在培养骨髓间充质干细胞时，发现不同细胞间铺展形状和面积存在差异，这一表象提示其力学性质可能不同。

为探究原因，团队从最基础的细胞状态入手。在比较了年轻人与老年人来源的骨髓间充质干细胞后，团队发现衰老细胞在用力能力上明显不足。

感觉更‘散’一点，‘攀附’在其生长表面的‘力’变弱了。魏强表示，年轻细胞内部紧绷，牵引力达227 Pa。而衰老细胞的内部松垮，仅剩下122 Pa，细胞的硬度从790 Pa跌至470 Pa，骨架的有序性也有降低。

而当研究人员对这些衰老细胞施加温和精准的机械刺激后，细胞骨架变得有序，且牵引力又被重新激活，衰老相关分子显著下降，细胞增殖能力得到恢复。

更关键的是，从分子机制上看，增强的细胞牵引力传导至细胞核，物理性地撑开了紧缩的染色质后，FOXO1这个关键的抗衰老基因也被重新激活。

染色质相当于细胞核内DNA经过超级压缩和动态包装后的形态，而它的松紧度，也就是可及性直接决定了基因能否被使用，进而影响着生命活动的调控。

其开放状态需要骨架收缩力提供支撑，如果衰老细胞因牵引力不足，无法维持染色质的开放结构，进而便关闭了包括FOXO1在内的多个关键基因。魏强解释，FOXO1表达受抑便会直接加剧细胞增殖、迁移、分化能力的下降。这正是细胞衰老的核心分子机制。

团队通过ATAC-seq等技术进一步证实，当温和适度的机械刺激恢复细胞牵引力，打开FOXO1的染色质枷锁后，其表达随之上升。而当研究人员敲低FOXO1后，机械刺激的抗衰老效果便减退。

生命的维持需要恰到好处的力

为验证细胞层面的发现，团队还开展了动物实验。

考虑到传统跑步干预中小鼠依从性差的问题，团队参考相关原理搭建了小鼠专用振动台，并经反复试验后设计了精准的刺激方案。

按照特定频率持续刺激一个月后，小鼠的松质骨结构明显改善，骨小梁数量增加，胶原沉积恢复，骨量显著提升。与此同时，骨髓中多种衰老和炎症标志物下降，提示骨组织微环境正在向更健康的状态转变。

但力的调控存在严格的安全边界。在实验过程中，团队还发现，对老年小鼠进行超过一定程度的连续振动，不仅无益于骨质改善还会加重炎症，因为过度的力学刺激会诱发细胞和机体产生强烈的DNA损伤。

这一规律与‘适度运动有益健康，强度过大损伤身体’的逻辑一致。团队成员、博士刘晓静认为，生命的维持需要恰到好处的力，其恰好又体现着东方哲学里中庸之道与过犹不及的智慧。

后续，他们更想找到精准界定适合人体的机械刺激参数范围，为临床转化提供安全且有效的数据支撑。

而且不同衰老程度的细胞，其力学特征各异。魏强设想，未来或可依据这些特征，对可逆转的细胞实施年轻化，而对不可逆的细胞引导免疫系统进行精准清除，优化机械刺激方式，提升全身抗衰老效果。

他希望，科学设计的力学干预或许能成为一门新的抗衰老艺术，在精准与自然之间找到平衡点。
(来源：中国科学报 杨晨)

相关论文信息：<https://doi.org/10.1038/s41467-026-68387-3>

作者：魏强等 来源：《自然—通讯》

更多 科学进展 请访问 <https://www.iikx.com/news/progress/>

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，[爱科学iikx.com](http://www.iikx.com)转发