

# 脂联素对骨骼肌糖代谢的影响及其在运动干预下的变化

李 涛

沈阳体育学院 110102

**【摘要】**脂联素是一种由脂肪细胞分泌的激素，可以调节能量平衡和脂肪分解，以及促进骨骼肌蛋白质合成。脂联素可以作为运动干预的潜在靶点，并被认为是可以减少因高脂饮食导致的体重增加。研究表明，脂联素能有效降低糖尿病患者的血糖水平，改善胰岛素抵抗、减少胰岛素用量及减轻体重。此外，脂联素对脂肪分解、骨骼肌蛋白质合成等过程有一定的调控作用。随着研究的不断深入，脂联素在运动中的作用也逐渐被揭示。本综述通过回顾近年来相关文献，探讨了脂联素对骨骼肌糖代谢的影响及其在运动干预下的变化，并对其作用机制进行了初步探讨。

**【关键词】**脂联素；骨骼肌糖代谢；运动干预变化

## 引言

随着现代生活方式的改变，肥胖和糖尿病等代谢性疾病的发病率逐年上升，这些疾病的发生与骨骼肌糖代谢的异常密切相关。脂联素作为一种由脂肪组织分泌的激素，近年来在调节糖代谢中的作用受到广泛关注。研究表明，脂联素不仅能够促进骨骼肌葡萄糖的摄取和利用，还参与调节脂肪分解、蛋白质合成以及线粒体功能等多个方面，对于维持骨骼肌的正常代谢和能量平衡具有重要意义。

然而，脂联素对骨骼肌糖代谢的具体影响机制以及其在不同运动干预下的变化仍不完全清楚。因此，本研究旨在深入探讨脂联素对骨骼肌糖代谢的影响及其在运动干预下的变化，以期为预防和治疗代谢性疾病提供新的思路 and 理论依据。

## 1. 脂联素的结构、生理功能及其对糖代谢的调节

脂联素，作为一种由脂肪细胞分泌的蛋白质激素，其在人体的代谢调控中扮演了至关重要的角色。这种激素不仅参与了能量平衡、糖脂代谢的调节，还在抗炎、抗氧化以及改善胰岛素敏感性等方面发挥了关键作用。为了更深入地理解脂联素的作用，我们需要先了解其独特的分子结构和生理功能。

### 1.1 结构

脂联素分子结构相当独特，其以单聚体、三聚体和六聚体的形式存在于循环系统中。这种多态性使得脂联素能够与不同的受体结合，进而发挥其多样的生物学功能。脂联素的分子量约为 30kDa，由 244 个氨基酸组成。其分子中包含两个主要结构域：一个是由 18 个氨基酸组成的信号肽，它负责将脂联素分泌到细胞外；另一个是由 183 个氨基酸组成的成熟肽，其中包含两个主要的功能区域——一个球状结构域和一个 C-末端 collagen-like 结构域。

球状结构域是脂联素与受体结合的主要区域，它包含了多个能够与受体相互作用的位点。而 C-末端 collagen-like 结构域则负责维持脂联素分子的稳定性和结构完整性。这种特殊的结构使得脂联素能够与多种受体结合，如 AdipoR1 和 AdipoR2 等，进而发挥其生物学功能。

### 1.2 生理功能

脂联素在体内的生理功能多样且重要。首先，它作为一种强有力的抗炎因子，能够通过抑制 NF- $\kappa$ B 等炎症信号通路的激活来减轻炎症反应。其次，脂联素还具有抗氧化作用，能够清除自由基，保护细胞免受氧化应激的损伤。

更为重要的是，脂联素在调节能量平衡和糖脂代谢方面发挥了关键作用。它能够促进脂肪酸氧化，降低血浆中的游离脂肪酸水平，从而改善胰岛素抵抗。此外，脂联素还能够抑制肝脏的糖异生，减少葡萄糖的产生，从而降低血糖水平。这些作用使得脂联素成为了一个潜在的治疗糖尿病、肥胖症等代谢性疾病的靶点。

### 1.3 对糖代谢的调节

脂联素在糖代谢调控中的作用尤为突出。它通过与骨骼肌和肝脏中的 AdipoR1 和 AdipoR2 受体结合，激活下游的腺苷酸活化蛋白激酶（AMPK）和过氧化物酶体增殖物激活受体（PPAR）等信号通路。这些信号通路的激活能够增加骨骼肌的葡萄糖摄取和脂肪酸氧化，从而降低血糖水平。同时，脂联素还能够抑制肝脏的糖异生过程，进一步减少葡萄糖的产生。这些作用共同构成了脂联素在糖代谢调控中的重要地位。

## 2. 脂联素对骨骼肌葡萄糖摄取的影响

### 2.1 直接作用：增加葡萄糖转运蛋白 4（GLUT4）表达

脂联素具有直接作用于骨骼肌细胞的能力，促使其表面葡萄糖转运蛋白 4（GLUT4）的表达增加。GLUT4 是葡萄糖进入细胞的主要转运蛋白，其表达水平直接关系到骨骼肌细胞对葡萄糖的摄取能力。脂联素通过促进 GLUT4 从细胞内转移到细胞膜上，从而提高了其在细胞膜上的数量，进一步增强了骨骼肌细胞对葡萄糖的摄取。这种作用不仅有助于提高骨骼肌的糖代谢能力，还能有效降低血糖水平。

### 2.2 信号传导：激活 AMPK 通路

脂联素与骨骼肌细胞表面的 AdipoR1 受体结合后，能够激活腺苷酸活化蛋白激酶（AMPK）通路。AMPK 是一种能量感受器，当细胞内 ATP/ADP 比值下降时，AMPK 被激活，进而促进骨骼肌细胞的糖酵解和

氧化磷酸化过程。在这一过程中, AMPK 通过磷酸化一系列下游底物, 如乙酰辅酶 A 羧化酶 (ACC) 和 PGC-1 $\alpha$  等, 促进了脂肪酸氧化和葡萄糖的摄取与利用。

### 2.3 改善胰岛素敏感性

胰岛素抵抗是许多代谢性疾病的共同特征, 表现为骨骼肌对胰岛素的反应性降低, 导致葡萄糖摄取减少。脂联素能够通过多种机制改善胰岛素抵抗, 使骨骼肌对胰岛素的反应更敏感。首先, 脂联素能够增加胰岛素受体底物 (IRS) 的磷酸化, 进而促进胰岛素信号通路的传导。其次, 脂联素还能够抑制炎症反应和氧化应激, 减轻这些因素对胰岛素敏感性的负面影响。

## 3. 运动干预对脂联素表达的影响

### 3.1 提高脂联素水平

运动干预, 尤其是有氧运动和抗阻力训练, 已被证实能够提高血清中脂联素的浓度。这种提升作用在持续的中等强度运动中表现得尤为明显。有氧运动如跑步、游泳等, 通过增加心肺功能、提高能量消耗, 促进脂肪细胞的分化和代谢, 进而增加脂联素的分泌。抗阻力训练则通过刺激肌肉生长和增加肌肉质量, 提高骨骼肌对脂联素的敏感性, 从而增加其表达水平。

### 3.2 改变受体表达

除了提升脂联素的血液水平, 运动干预还通过调节脂联素受体的表达来增强其生理效应。脂联素有两个主要的受体亚型, AdipoR1 和 AdipoR2, 它们在骨骼肌、肝脏和其他组织中广泛分布, 并参与脂联素介导的代谢调控。运动, 特别是规律的有氧和抗阻力训练, 能够影响这些受体的表达。

有研究指出, 长期的运动训练可以增加骨骼肌中 AdipoR1 和 AdipoR2 的 mRNA 和蛋白质表达。这种上调可能是由于运动促进了线粒体生物合成和氧化代谢, 增强了细胞对脂联素信号的敏感性。AdipoR1 主要与脂联素介导的 AMP 活化蛋白激酶 (AMPK) 激活有关, 而 AMPK 是一个关键的代谢调节器, 能够刺激葡萄糖摄取和脂肪酸氧化。

### 3.3 时间和强度依赖性

运动干预对脂联素的影响还表现出明显的时间和强度依赖性。长期、规律的运动干预比短期、偶尔的运动更能提升脂联素水平。此外, 适当的运动强度也是关键因素, 中等强度的运动往往比高强度或低强度的运动更能有效地提高脂联素水平。这可能与不同运动方式和强度对脂肪细胞分化和代谢的影响程度有关。

## 4. 运动干预对骨骼肌脂肪分解、蛋白质合成及线粒体功能的影响

### 4.1 脂肪分解

运动通过激活 AMPK (腺苷酸活化蛋白激酶) 信号通路, 促进骨骼肌中的脂肪酸氧化, 从而减少脂肪积累。AMPK 是一个能量感受器, 当细胞内 ATP/ADP 比值下降时, AMPK 被激活, 进而促进脂肪酸进入线粒体进行氧化分解, 产生能量。此外, 脂联素也通过其受体 AdipoR1 和 AdipoR2

促进脂肪分解, 减少脂肪在骨骼肌中的积累。运动与脂联素在促进脂肪分解方面存在协同作用, 共同维护骨骼肌的脂代谢平衡。

### 4.2 蛋白质合成

运动对骨骼肌蛋白质合成的刺激是其改善肌肉质量和功能的关键机制之一。在运动过程中, 肌肉收缩产生的机械应力激活了机械通路, 如 mTOR (哺乳动物雷帕霉素靶蛋白) 信号通路, 进而促进 mRNA 的稳定性和蛋白质合成。此外, 运动还诱导肌肉中的生长因子, 如 IGF-1 和 MGF 的释放, 这些生长因子能够刺激肌肉细胞增殖和分化, 加速蛋白质合成, 帮助肌肉修复和重建。

脂联素在蛋白质合成中也起着重要作用。脂联素通过与其受体 AdipoR1 和 AdipoR2 结合, 激活 AKT/mTOR 信号通路, 这与胰岛素介导的蛋白质合成路径相似。脂联素的这种作用可以增强运动诱导的蛋白质合成, 特别是在营养限制或疲劳状态下, 有助于维持肌肉质量并促进恢复。

### 4.3 线粒体功能

线粒体是骨骼肌细胞内的“能量工厂”, 其功能状态直接影响骨骼肌的能量产生和运动表现。运动通过增加线粒体数量、提高线粒体氧化磷酸化效率等方式改善线粒体功能。同时, 脂联素也能促进线粒体的生物合成和功能。研究表明, 脂联素可以通过激活 PGC-1 $\alpha$  (过氧化物酶体增殖物激活受体  $\gamma$  共激活因子 1 $\alpha$ ) 等转录因子, 促进线粒体 DNA 的转录和复制, 从而增加线粒体的数量和功能。因此, 运动与脂联素共同作用可以进一步提高骨骼肌线粒体的功能, 增强能量产生效率, 提高运动表现。

## 5. 结语

本研究对脂联素在骨骼肌糖代谢中的作用及其在运动干预下的变化进行了系统的探讨。通过深入分析脂联素的结构与生理功能, 我们发现脂联素在调节糖代谢中扮演了关键角色。进一步的研究揭示了脂联素对骨骼肌葡萄糖摄取的重要影响, 这一发现为我们理解骨骼肌糖代谢的调控机制提供了新的视角。

### 参考文献:

- [1]朱文华, 陈丽英, 张佳, 等. 基于脂联素及脂联素受体的代谢综合征干预通路的研究进展[J]. 全科医学临床与教育, 2020, 18(12): 1110-1113.
- [2]王光亚. 脂联素与代谢性疾病的相关性及其改善胰岛素抵抗的机制研究[D]. 河北医科大学, 2021.
- [3]杨阳, 马铁, 曹师承, 等. 脂联素在骨骼肌中的新功能及其与运动的关系[J]. 生物化学与生物物理进展, 2023, 50(02): 306-321.
- [4]吴开展, 周国灶, 梁伟. 利拉鲁肽对小切口阑尾切除术治疗急性阑尾炎合并 T2DM 患者血糖、脂联素及胰岛素的影响[J]. 糖尿病新世界, 2024, 27(03): 81-84.
- [5]傅饶, 吴永鑫, 余靖, 等. 利拉鲁肽可改善高脂诱导的小鼠骨骼肌纤维化和脂联素下调[J]. 中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志, 2024, 17(01): 41-49.