

蛋白质摄入量对低能量摄入的超重/肥胖大鼠骨骼肌相关激素的影响

彭苏文, 田颖*, 何智燕, 彭景, 陈玉

(扬州大学旅游烹饪学院, 江苏扬州 225127)

摘要: 采用SD雄性大鼠作为模型动物进行高脂饲料喂养以建立超重、肥胖模型, 研究低、正常、高蛋白质摄入量对低能量摄入状态下的超重/肥胖大鼠骨骼肌相关激素的影响。结果表明: 与对照组相比, 干预组的进食量、摄入能量、脂肪摄入量、脂肪供能比、骨骼肌重量、蛋白含量、蛋白重量、体重显著降低($P < 0.05$); 雌二醇、睾酮、一氧化氮合成酶、胰岛素样生长因子-1、生长激素、皮质醇含量显著增加($P < 0.05$), 其中低能量正常蛋白组、低能量高蛋白组胰岛素含量显著升高($P < 0.05$)。说明增加蛋白质摄入量提高了大鼠骨骼肌相关激素的水平, 但需调整好三大产能营养素供能比才能有效促进骨骼肌蛋白合成。

关键词: 蛋白质摄入量; 低能量; 肥胖; 骨骼肌; 激素

中图分类号: TS 972.161

文献标志码: A

文章编号: 2095-8730(2020)01-0056-05

近几十年来, 随着人们膳食结构、生活习惯的改变, 超重、肥胖已成为影响公众健康的首要问题。^[1] 研究超重/肥胖疾病的控制防治措施已成为科学研究的迫切任务。

研究发现, 持续的超重或肥胖状态除了能引发骨骼肌发生功能和结构改变, 还可能诱导骨骼肌萎缩、或常常伴有激素紊乱现象。^[2-4] 而且不科学的减重方法, 尤其是单纯减少进食量、限制能量摄入, 而不注意蛋白质的摄入量, 会导致骨骼肌分解以满足机体对氨基酸和能量的需要, 造成骨骼肌的质量和力量下降, 引起机体内分泌紊乱。^[5] 所以, 如何保存骨骼肌蛋白质或减少其损耗以维持机体平衡变得尤为重要。

目前有很多减重方法, 如生活方式调整(膳食和体育运动)、药物治疗、手术治疗等。其中营养干预是安全、有效的基础治疗手段。食物中的蛋白质可增强骨骼肌组织中的蛋白质转换, 刺激骨骼肌蛋白质合成并抑制蛋白质分解, 达到氮平衡。但过高的饮食蛋白摄入会产生更多的代谢废物和酸性物质, 增加肝脏、肾脏的负担,^[6] 因此需

要在减重过程中对蛋白质摄入进行合理控制, 以减少骨骼肌的丢失, 同时又不会对身体造成其他危害。

现有研究主要集中于不同减重方法对体重、血糖、血脂等的影响,^[7] 而关于营养干预对瘦体重以及骨骼肌相关激素的影响却少有研究。本实验通过研究低能量摄入的同时不同蛋白质摄入量对大鼠骨骼肌的影响, 探讨调整蛋白质摄入量是否能影响骨骼肌相关激素, 进而影响骨骼肌蛋白质量, 为合理饮食健康减重提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验仪器与实验试剂

全自动生化分析仪日立7020型: 日本株式会社日立高新技术; 酶标仪 iMark: 美国 BIO RAD 公司。试剂盒购于上海恒远生物科技有限公司。常规试剂购于国药集团化学试剂公司。

1.2 实验动物与饲料

健康雄性 SD 大鼠 36 只, 5~6 周龄, 体重(190±5)g, 购自上海西普尔-必凯实验动物有

收稿日期: 2019-12-11 * 通信作者

基金项目: 国家自然科学基金项目(81472963)

作者简介: 彭苏文, 女, 扬州大学旅游烹饪学院硕士研究生, 从事营养与食品卫生学研究;

田颖, 女, 扬州大学旅游烹饪学院副教授, 博士, 从事营养学研究。

限公司,实验动物质量合格证编号: 2013001600-9088,许可证号码: SCXK(沪) 2013-0016,饲养条件: 室温 20~25℃,湿度 40%~70%,每笼 6 只,光照 12 h、明暗交替。

本次实验一共使用 4 种饲料,购自江苏省协同医药生物工程有限责任公司,饲料合格证编号: 120180914003,许可证号码: 苏饲证(2019) 01008,分别为普通饲料、高脂饲料、30% 高蛋白饲料、60% 高蛋白饲料,各饲料成分见表 1。

表 1 各饲料成分

| 饲料成分/% | 高脂饲料 | 30% 蛋白饲料 | 60% 蛋白饲料 |
|---------|------|----------|----------|
| 维持基础料 | 40.0 | 77.0 | 27.0 |
| 猪油 | 28.0 | — | — |
| 蔗糖 | 10.0 | — | — |
| 全脂奶粉 | 10.0 | — | — |
| 酪蛋白 | 8.0 | — | — |
| 实验动物预混料 | 2.0 | 1.5 | 3.0 |
| 磷酸氢钙 | 2.0 | 1.0 | 2.5 |
| 色拉油 | — | 1.5 | 4.0 |
| 微晶纤维 | — | 1.0 | 2.5 |
| 大豆分离蛋白 | — | 18.0 | 61.0 |

注: 维持基础料即普通维持饲料成分,按照 GB 14924.3—2010 配制,具体有玉米 40.6%、次粉 14.0%、小麦 10.0%、苜蓿草 3.0%、豆粕 11.0%、鱼粉 6.0%、鸡肉粉 6.0%、动物预混料(维生素、矿物质的混合物) 4.4%、谷朊粉 2.0%、石粉 1.0%、色拉油 2.0%

1.3 方法

建立肥胖大鼠模型: 随机挑选 6 只用普通维持饲料喂养,记为正常对照组,其余用高脂饲料喂养,记为造模组,每组自由进食、自由饮水,每周末称重记录。喂养 9 周,体重高于正常对照组大鼠体重 10% 的大鼠即为造模成功,^[8]共 20 只。将造模成功大鼠随机分为模型对照组(MC)、低能量低蛋白组(LP)、低能量正常蛋白组(NP)、低能量高蛋白组(HP),加正常对照组(NC)共 5 组,进行 8 周的干预实验。LP 组能量摄入量是 NC 组的 60%,食普通维持饲料,蛋白质摄入量是 NC 组的 60%; NP 组能量摄入量是 NC 组的 60%,食 30% 蛋白饲料,蛋白质摄入量等于 NC 组; HP 组能量摄入量是 NC 组的 60%,食 60% 蛋白饲料,蛋白质摄入量是 NC 组的 2 倍。按照 GB 5009.5—2016、GB 5009.6—2016、GB 5009.3—2016、

GB 5009.4—2016 食品安全国家标准测定各种饲料中蛋白质、脂肪、水分、灰分含量,计算饲料中碳水化合物含量及能量值。先称量 NC 组 1 d 的摄食量,再根据不同饲料的能量值计算各干预组 1 d 的能量摄入量,于第 2 天按照这个量的 60% 计算 3 个干预组相应重量的饲料,干预组每日投食量均食完,MC 组则自由进食,每周末称量各组大鼠体重。

1.4 样品采集

实验结束前,大鼠禁食 12 h,称重后腹腔注射 10% 的水合氯醛麻醉,腹主动脉取血处死,离心收集血清,并采集后肢股四头肌分装置于液氮中急速冷冻,并保存于 -80℃ 冰箱。

1.5 检测指标和方法

1.5.1 血糖血脂测定

血清血糖(GLU)、甘油三酯(TG)、总胆固醇(TC)、高密度脂蛋白胆固醇(HDL-C)、低密度脂蛋白胆固醇(LDL-C)采用全自动生化仪进行测定。

1.5.2 骨骼肌蛋白含量测定

采用微量酶标法(BCA法),按照试剂盒说明书操作。

1.5.3 血清相关激素测定

采用酶联免疫法测定胰岛素(INS)、雌二醇(E2)、睾酮(T)、一氧化氮合成酶(NOS)、胰岛素样生长因子-1(IGF-1)、生长激素(GH)、皮质醇(Cortisol)的含量。按照试剂盒说明书操作。

1.6 统计学处理

利用 Excel 进行数据整理,SPSS 19.0 进行统计检验,进行正态性和方差同质性检验, $P < 0.05$ 表示差异显著。

2 结果

2.1 各组大鼠进食情况

干预期间大鼠每日进食量、能量摄入量、产能营养素摄入量及其供能比见表 2。

由表 2 可知,干预组每日进食量、能量及脂肪摄入量均显著低于 MC 组($P < 0.05$); LP 组蛋白质摄入量显著低于 MC 组($P < 0.05$),碳水化合物摄入量与 MC 组无统计学差异; NP 组蛋白质摄入量、碳水化合物摄入量与 MC 组相比均无差异; HP 组蛋白质摄入量显著高于 MC 组($P < 0.05$),碳水化合物摄入量显著低于 MC 组($P < 0.05$)。

表2 干预期间大鼠每日进食量、能量摄入量、产能营养素摄入量及其供能比($\bar{x} \pm SD, n=4$)

| 组别 | 进食量 / (g/d) | 摄入能量 / (kcal/d) | 蛋白质摄入量 / (g/d) | 脂肪摄入量 / (g/d) | 碳水化合物摄入量 / (g/d) | 蛋白质供能比 / % | 脂肪供能比 / % | 碳水化合物供能比 / % |
|----|---------------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|-----------|--------------|
| NC | 24.06 ± 0.83 ^a | 87.63 ± 3.04 ^a | 4.62 ± 0.16 ^a | 1.20 ± 0.04 ^{ac} | 14.58 ± 0.51 ^a | 21.09 | 12.36 | 66.56 |
| MC | 21.57 ± 3.30 ^a | 106.19 ± 16.27 ^a | 4.12 ± 0.63 ^a | 6.31 ± 0.97 ^b | 8.23 ± 1.26 ^{bd} | 15.53 | 53.49 | 30.99 |
| LP | 14.46 ± 0.51 ^b | 52.66 ± 1.86 ^b | 2.78 ± 0.10 ^b | 0.72 ± 0.03 ^a | 8.76 ± 0.31 ^b | 21.09 | 12.36 | 66.56 |
| NP | 14.47 ± 0.51 ^b | 52.70 ± 1.84 ^b | 4.51 ± 0.16 ^a | 0.86 ± 0.03 ^c | 6.74 ± 0.24 ^d | 34.25 | 14.61 | 51.14 |
| HP | 14.56 ± 0.50 ^b | 52.68 ± 1.82 ^b | 7.99 ± 0.28 ^c | 0.85 ± 0.03 ^c | 3.27 ± 0.11 ^c | 60.70 | 14.50 | 24.80 |

注: 同列数据中不同字母上标表示差异显著($P < 0.05$)

2.2 大鼠体重、骨骼肌重量及其成分

各组大鼠体重变化情况见表3。各组大鼠股四头肌重量及其蛋白的比较见表4。

表3 各组大鼠体重变化情况($\bar{x} \pm SD, n=4$)

| 组别 | 初始体重/g | 造模后体重/g | 干预后体重/g |
|----|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| NC | 195.06 ± 10.67 ^a | 462.80 ± 16.60 ^a | 554.60 ± 24.09 ^a |
| MC | 195.97 ± 8.19 ^a | 544.65 ± 49.05 ^b | 665.20 ± 90.97 ^b |
| LP | — | — | 470.80 ± 47.73 ^c |
| NP | — | — | 476.80 ± 42.51 ^c |
| HP | — | — | 458.45 ± 21.14 ^c |

注: 同列数据中不同字母上标表示差异显著($P < 0.05$)

由表3可知,造模后MC组体重高于NC组($P < 0.05$),都超过NC组体重的10%,说明造模成功。

由表4可知,干预组骨骼肌重量、蛋白质量、

蛋白含量均低于MC组($P < 0.05$),NP组、HP组骨骼肌重量、蛋白重量低于LP组($P < 0.05$),随蛋白质摄入量增加,骨骼肌蛋白重量与蛋白含量呈下降趋势,但无统计学差异。

表4 各组大鼠股四头肌重量及其蛋白的比较($\bar{x} \pm SD, n=4$)

| 组别 | 骨骼肌重量 /g | 蛋白重量 /g | 蛋白含量 / (mg/g) |
|----|----------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| NC | 12.70 ± 1.23 ^{ac} | 2.64 ± 0.34 ^a | 207.82 ± 10.29 ^a |
| MC | 14.44 ± 1.57 ^a | 4.61 ± 0.33 ^b | 321.97 ± 41.65 ^b |
| LP | 12.28 ± 1.62 ^c | 3.29 ± 0.37 ^c | 268.50 ± 11.33 ^c |
| NP | 10.23 ± 0.78 ^b | 2.59 ± 0.10 ^a | 254.29 ± 14.01 ^c |
| HP | 10.24 ± 1.03 ^b | 2.50 ± 0.26 ^a | 245.41 ± 23.62 ^c |

注: 同列数据中不同字母上标表示差异显著($P < 0.05$)

2.3 大鼠相关激素含量

各组大鼠血清激素含量见表5。

表5 各组大鼠血清激素含量($\bar{x} \pm SD, n=4$)

| 组别 | INS / (mU/L) | E2 / (ng/L) | T / (nmol/L) | NOS / (μmol/L) | IGF-1 / (ng/mL) | GH / (μg/L) | Cortisol / (μg/L) |
|----|---------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| NC | 27.88 ± 0.33 ^a | 138.16 ± 6.02 ^a | 214.74 ± 9.97 ^a | 49.39 ± 3.70 ^a | 43.70 ± 2.41 ^a | 46.13 ± 3.24 ^a | 246.18 ± 18.79 ^a |
| MC | 19.90 ± 0.49 ^b | 78.70 ± 1.71 ^b | 138.77 ± 5.93 ^b | 30.56 ± 1.28 ^b | 27.81 ± 1.03 ^b | 27.58 ± 1.62 ^b | 139.38 ± 5.91 ^b |
| LP | 16.22 ± 0.64 ^c | 80.19 ± 2.98 ^b | 142.45 ± 12.74 ^b | 32.29 ± 1.65 ^b | 28.18 ± 1.78 ^b | 27.46 ± 2.72 ^b | 154.93 ± 22.80 ^b |
| NP | 24.19 ± 0.69 ^d | 112.60 ± 3.77 ^c | 191.35 ± 9.22 ^c | 42.67 ± 1.92 ^c | 37.79 ± 2.54 ^c | 40.22 ± 2.40 ^c | 213.20 ± 9.82 ^c |
| HP | 23.08 ± 0.83 ^e | 104.47 ± 5.12 ^d | 182.43 ± 12.57 ^c | 42.90 ± 2.17 ^c | 37.41 ± 2.79 ^c | 38.62 ± 1.73 ^c | 210.27 ± 13.07 ^c |

注: 同列数据中不同字母上标表示差异显著($P < 0.05$)

由表5可知,MC组各激素含量均显著低于NC组($P < 0.05$),NP组、HP组各激素含量均显著高于MC组($P < 0.05$)。

3 讨论

本研究发现,干预期间控制能量摄入量后,低

能量摄入的干预组体重明显低于MC组($P < 0.05$),干预组之间体重无统计学差异。提示控制能量摄入量能够降低超重/肥胖SD大鼠的体重增长。李琳^[9]发现通过减少能量摄入——通常每日仅摄入正常饮食的60%~70%进行减脂,可有效地降低大鼠的体重及体脂含量,该研究结

果与本实验结果一致,说明合理控制能量摄入能起到减重的作用。

研究发现,超重/肥胖会影响体内激素水平。^[10]有研究者发现部分激素与骨骼肌合成和分解有关,例如 INS、E2、T、NOS、IGF - 1、GH、Cortosol,它们参与骨骼肌蛋白合成和分解的过程。^[11]INS、NOS、IGF - 1、GH 属于蛋白类激素,E2、T 属于类固醇激素,其合成和分泌能促进肌细胞激活、增殖与分化,达到预防骨骼肌萎缩和促进骨骼肌增长的作用,^[12-16]本实验结果可知,MC 组 INS、NOS、IGF - 1、GH、E2、T 含量均低于 NC 组($P < 0.05$),提示超重/肥胖抑制该类激素的合成,这类激素的降低可能是由于超重/肥胖对胰腺、肝脏、睾丸、卵巢等脏器产生影响使其分泌不足。^[15,17-21]NP 组、HP 组该类激素含量显著高于 MC 组与 LP 组($P < 0.05$),提示低能量摄入情况下增加蛋白摄入量后对该类激素的合成产生了明显的促进作用。Cortosol 属于类固醇激素,能促进骨骼肌分解。^[22]本实验结果可知,皮质醇的变化趋势与上述几种促进骨骼肌蛋白合成激素的变化趋势一致,说明超重/肥胖抑制了 Cortosol 分泌,而降低体重、增加蛋白质摄入能促进 Cortosol 的合成。虽然 INS、NOS、IGF - 1、GH、E2、T 在一定程度上促进蛋白质合成,Cortosol 则抑制蛋白质合成。^[15,18,23-26]但实验结果显示骨骼肌蛋白重量、蛋白含量与激素含量趋势不一致,随蛋白质摄入量增加,干预组骨骼肌的蛋白重量及含量均减少,说明激素并不是促进骨骼肌蛋白合成、分解的主要因素,提示可能与三大产能营养素供能比、蛋白质摄入量有关。^[5,27]

60%的低能量控制使机体处于负能量平衡状态,需要消耗自身蛋白提供能量,膳食摄入的蛋白质也大部分用于氧化供能。LP 组碳水化合物供能比为 66.56%,蛋白质和脂肪供能比只有 21.09%、12.36%,碳水化合物作为直接产能物质能减少蛋白质的消耗,^[28]使得膳食摄入的蛋白质能更多地参与骨骼肌合成,故干预后 LP 组骨骼肌蛋白重量、蛋白含量最高;而 HP 组蛋白质供能比为 60.70%,碳水化合物和脂肪供能比只有 24.80%、14.50%,碳水化合物和脂肪供能不足导致膳食摄入的蛋白质绝大部分用于氧化供能,而较少参与骨骼肌合成,因此导致 HP 组骨骼肌蛋白重量、蛋白含量均最低;NP 组蛋白质、脂肪、

碳水化合物供能比分别为 34.25%、14.61%、51.14%,较 HP 组均衡,所以 NP 组骨骼肌蛋白重量、蛋白含量高于 HP 组,低于 LP 组。

综上所述,控制能量摄入量能够降低超重/肥胖 SD 大鼠的体重,而低能量控制后增加蛋白质摄入量提高了大鼠相关激素的水平,但由于能量控制过低导致机体能量失衡,消耗一部分蛋白以维持机体平衡状态。因此确定能量控制范围及调整好三大产能营养素供能比才能有效促进骨骼肌蛋白合成。

参考文献:

- [1] 沈月,王益平,蒲清荣,等. 三豆苡苓药膳改善单纯性肥胖体质效果研究[J]. 美食研究, 2016, 33(1): 54-58.
- [2] 罗琳,杨金鹏,王松涛,等. 肥胖性肌肉萎缩的分子机制研究进展[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(5): 553-557.
- [3] 江瑞玉,卞华伟. 饮食控制与运动相结合的减肥效果评价[J]. 中国临床营养杂志, 2006, 14(3): 176-178.
- [4] 郑琳琳,姚兴家,吴辉,等. 饮食诱导雄性肥胖大鼠生长激素轴变化[J]. 中国公共卫生, 2005, 21(3): 269-270.
- [5] 逢金柱,杨则宜. 高蛋白减肥饮食策略探析[J]. 体育科研, 2009, 30(3): 63-66.
- [6] 徐畅,阮榕生,刘玉环. 浅述高蛋白饮食对人体健康的影响[J]. 食品工业科技, 2012, 33(21): 399-402.
- [7] 佟欣,李磊,郑强,等. 肥胖者减肥前后血脂、血压、血糖及血清胰岛素的变化[J]. 陕西医学杂志, 2008(12): 1625-1627.
- [8] CHANDLER P C, VIANA J B, OSWALD K D, et al. Feeding response to melanocortin agonist predicts preference for and obesity from a high-fat diet [J]. Physiological Behavior, 2005, 85: 221-230.
- [9] 李琳. 能量摄入限制的减脂作用及其对骨骼肌自噬的影响[C]//2018年中国生理学会运动生理学专业委员会会议暨“科技创新与运动生理学”学术研讨会论文集. 北京:北京体育大学运动生理教研室, 2018: 2.
- [10] 王佳捷,黄伟,周仲瑜. 肥胖相关激素与针刺研究进展[J]. 湖北中医杂志, 2017, 39(4): 61-63.
- [11] 赵之光,程金娜,魏文哲,等. 加压训练和传统增肌训练对优秀男子手球运动员部分激素及生物活性因子的影响[J]. 中国体育科技, 2019, 55(5):

- 20-29.
- [12] 张美艳. 如何正确应用胰岛素[J]. 内蒙古中医药, 2010, 29(9):96.
- [13] 魏佳, 李博, 杨威, 等. 血流限制训练的应用效果与作用机制[J]. 体育科学, 2019, 39(4):71-80.
- [14] 夏婷. 生长激素与肥胖[J]. 临床荟萃, 2011, 26(20):1830-1834.
- [15] 郑陆, 潘力平, 陶大浪, 等. 睾酮、骨骼肌雄激素受体与运动的关系[J]. 武汉体育学院学报, 2004(2):65-68.
- [16] 张丽, 李晓南. 类固醇激素与中心性肥胖[J]. 医学综述, 2010, 16(7):961-964.
- [17] 聂忠江. 胰岛素的药理作用与临床应用[J]. 中国现代药物应用, 2014, 8(14):142-143.
- [18] 徐彭涛. NOS在骨骼肌萎缩中的作用[D]. 西安:第四军医大学, 2011.
- [19] 王德峰, 王仁成, 陶如. IGF-1在运动系统中的应用及研究进展[J]. 中国骨质疏松杂志, 2009, 15(11):853-856.
- [20] 万荣, 吴云林. 肝硬化生长激素胰岛素样生长因子轴的基础与临床研究[J]. 胃肠病学和肝病杂志, 2005(1):107-110.
- [21] 马颖, 郁琦. 雌二醇凝胶临床应用指导建议[J]. 中国实用妇科与产科杂志, 2017, 33(7):709-711.
- [22] 孟春玲, 张永利. 皮质醇增多症的手术前后护理[J]. 河北医学, 2002(2):169-170.
- [23] 鲁葆春, 杨建辉, 陈志良, 等. 胰岛素对急性重症胆管炎脓毒症大鼠骨骼肌代谢的影响[J]. 肝胆胰外科杂志, 2016, 28(2):121-124.
- [24] DEASY B M, QU-PETERSON Z, GREENBERGER J S, et al. Mechanisms of muscle stem cell expansion with cytokines [J]. Stem Cells (Miamisburg), 2002, 20(1):50-60.
- [25] SARIANNA S, HEIKKINEN E, CHENG S, et al. Endogenous hormones, muscle strength, and risk of fall-related fractures in older women [J]. The Journals of Gerontology Series A - Biological Sciences and Medical Sciences, 2006, 61(1):92-96.
- [26] 刘嘉莉, 窦金焕, 胡丽蓉, 等. 热应激对奶牛生理和免疫功能的影响及其机理[J]. 中国畜牧兽医, 2018, 45(1):263-270.
- [27] 赵法伋, 顾景范. 营养与老年肌肉衰减综合征[J]. 营养学报, 2011, 34(5):13-19.
- [28] 曾子易. 浅谈碳水化合物的重要作用[J]. 技术与市场, 2015, 22(12):425.

Effects of protein intake on skeletal-muscle-related hormones in overweight/obese rats with low energy intake

PENG Suwen, TIAN Ying, HE Zhiyan, PENG Jing, CHEN Yu

(School of Tourism and Culinary Science, Yangzhou University, Yangzhou, Jiangsu 225127, China)

Abstract: SD male rats were used as model animals for high fat diet to establish overweight and obesity models. The effects of low, normal, and high protein intake on skeletal muscle-related hormones in overweight/obese rats under low energy intake were studied. Compared with the control, the dietary intake, energy intake, fat intake, fat energy supply ratio, skeletal muscle weight, protein content, protein weight, and body weight for rats in the intervention groups were significantly reduced ($P < 0.05$), the estradiol, testosterone, the content of nitric oxide synthase, insulin-like growth factor-1, growth hormone, and cortisol increased significantly ($P < 0.05$); the insulin content increased significantly ($P < 0.05$) in the groups of low-energy normal protein and low-energy high-protein group intake. The results implied that increasing protein intake increased the levels of skeletal muscle-related hormones in rats, but the energy supply ratio of the three major capacity nutrients must be adjusted to effectively promote skeletal muscle protein synthesis.

Key words: protein intake; low energy; obesity; skeletal muscle; hormone

(责任编辑:赵勇)