



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.250100
<http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250100>
China Journal of General Surgery, 2025, 34(4):625-631.

· 述评 ·

减重代谢手术对人体成分影响的研究现状与展望

李宝鹏, 高祥, 李鹏洲, 朱利勇, 朱晒红

(中南大学湘雅三医院 减重代谢外科, 湖南 长沙 410013)



朱晒红

摘要

目前肥胖已成为全球公共卫生危机, 因其与代谢综合征、心血管疾病、2型糖尿病及多种癌症的关联性而备受关注。减重代谢手术作为长期有效的体重管理手段, 可显著减少内脏脂肪和皮下脂肪, 改善代谢健康, 但也必须清醒认识到术后肌肉质量和骨密度的下降, 引起一系列相关问题, 对患者的身体健康和生活质量产生不良影响。基于这一复杂的临床现状, 对术后身体成分变化的研究显得尤为重要, 笔者系统总结了减重代谢手术后身体成分不同阶段的变化特征, 深入剖析了身体成分丢失的临床意义, 并对未来该领域的发展方向进行了前瞻性展望, 旨在为临床制定更为科学、合理的术后管理策略。

关键词

减肥手术; 身体成分; 皮下脂肪; 腹内脂肪; 骨矿物质密度

中图分类号: R62

Body composition changes following bariatric-metabolic surgery: present understanding and prospective developments

LI Baopeng, GAO Xiang, LI Pengzhou, ZHU Liyong, ZHU Shaihong

(Department of Bariatric Surgery, the Third Xiangya Hospital, Central South University, Changsha 410013, China)

Abstract

Obesity has become a global public health crisis, attracting significant attention due to its association with metabolic syndrome, cardiovascular diseases, type 2 diabetes, and various cancers. Bariatric-metabolic surgery, as a long-term effective method for weight management, can significantly reduce visceral and subcutaneous fat, improving metabolic health. However, it is also crucial to recognize the postoperative decline in muscle mass and bone density, which can lead to a series of related issues, adversely affecting patients' physical health and quality of life. Given this complex clinical reality, research on postoperative body composition changes becomes particularly important. Here, the authors systematically summarize the characteristics of body composition changes at different stages after bariatric-metabolic surgery, delves into the clinical significance of body composition loss, and provides a forward-looking perspective on the future development of this field, aiming to develop more scientific and reasonable postoperative management strategies for clinical practice.

基金项目: 湖南省自然科学基金资助项目 (2022JJ30887)。

收稿日期: 2025-02-28; 修订日期: 2025-04-17。

作者简介: 朱晒红, 中南大学湘雅三医院主任医师, 主要从事减重代谢方面的研究。

通信作者: 朱晒红, Email: shaihongzhu@126.com

Key words

Bariatric Surgery; Body Composition; Subcutaneous Fat; Intra-Abdominal Fat; Bone Mineral Densities

CLC number: R62

肥胖已成为全球公共卫生危机，因其与代谢综合征、心血管疾病、2型糖尿病及多种癌症的关联性而备受关注^[1]。对于重度肥胖患者[体质量指数(BMI) ≥ 40 kg/m²或 BMI ≥ 35 kg/m²合并代谢并发症]，减重代谢手术(bariatric surgery, BS)被证明是最有效的长期体质量管理手段^[2]，可以在术后减去30%~40%的总体质量，其中体脂是减去的主要部分。然而，在关注体脂下降带来的积极影响时，绝不能忽视其他身体成分丢失所产生的潜在影响，这些影响可能在术后的恢复过程以及患者的长期健康中逐渐显现^[3]。

人体是一个精妙复杂的系统，从分子水平来看，主要由水、脂肪、蛋白质和矿物质这四种成分构成。但目前常规的人体测量指标，诸如超重减轻百分比、BMI等，都存在明显的局限性，无法精准地反应个体各种成分的丢失情况^[4-5]。为了更好地分析BS对于身体成分的影响，人体成分模型成为研究的有力工具。依据三室人体成分模型，可以分为脂肪质量(fat mass, FM)、瘦体质量(lean body mass, LBM)以及骨矿物质密度(bone mineral density, BMD)^[6]。需要注意的是FM为体成分分析中量化脂肪总量的指标，而脂肪组织则包括结构、功能、位置等组织层面概念。

在测量方法的选择上，计算机断层扫描(computed tomography, CT)和磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)是评估身体成分的黄金标准，其优势在于不受水合状态的影响，能够提供极为精准的数据。而双能X射线吸收法(dual-energy X-ray absorptiometry, DEXA)凭借其精度高、重现性^[7]好的特点，也成为评估身体成分的良好替代方法，在临床与基础研究中发挥着重要作用。

因此，本文系统总结了FM、LBM和BMD的损失在幅度和进展方面的时间依赖性。全面梳理了BS后身体成分不同阶段的变化特征，深入介绍不同身体成分丢失的临床意义，阐明每种成分变化背后对患者的潜在影响，以期为BS术后的管理策略提供参考。同时展望了未来的发展方向，为后续的研究与临床实践提供指导方向。

1 BS对脂肪组织的影响

脂肪组织通常占正常成年人体质量的20%左右，其主要功能是作为脂肪的储存部位。脂肪组织还充当热绝缘体，有助于维持体温稳态^[8]。同时脂肪组织是一种代谢活跃的器官，受肥胖症高度影响，其慢性低度炎症过程对肥胖相关发病率有着重大影响，并且与心血管疾病、2型糖尿病和高血压的患病率密切相关^[9]。脂肪组织通常根据解剖位置和主要细胞类型成分进行划分，从组织学上讲，脂肪组织主要分为两种类型：白色脂肪组织，占总FM的95%以上；棕色脂肪组织，占脂肪的1%~2%。白色脂肪组织可分为两大类：位于腹腔的内脏脂肪组织和位于皮下的脂肪组织，两者可以在功能上进一步细分：内脏脂肪组织包括网膜(附着在胃)、腹膜后(围绕肾脏)和肠系膜(附着在肠道)，而皮下脂肪组织可以细分为深部和浅表或者躯干和肢体部分，其功能特征各有不同。BS在减轻体质量方面非常显著，尤其能有效减轻体质量包括腹部内脏脂肪组织和皮下脂肪组织。

1.1 对内脏脂肪组织的影响

过多的内脏脂肪组织，在肥胖相关并发症和2型糖尿病的病因和发病机制中起着核心作用，肝脏和胰腺脂肪组织都代表病理性脂肪组织库，并且在代谢相关疾病中影响重大。从临床研究来看，BS在脂肪动员方面呈现出独特的顺序，优先动员肝脏脂肪组织，其次是胰腺脂肪和腹部内脏脂肪组织，而皮下脂肪组织的动员程度最小^[10]，这主要归因于减重代谢术后体质量大幅减轻、胃肠道激素分泌增加以及细胞因子和脂肪因子模式的重排，这些变化有效地改善了脂质代谢，并减少了慢性炎症^[11]。在大多数情况下，脂肪变性不再明显，这表明肝脏中异位脂肪堆积完全消失^[12]。手术诱导的体质量减轻后，由于胰腺外分泌组织在术后消化摄入或肠道吸收变化的脂肪减少，导致胰腺脂肪组织稳步消失，胰岛素分泌和敏感性逐渐恢复^[13]。Dustin等^[14]进一步指出，肝脏脂肪组的减少主要发生在术后早期(前6周)的治疗过程期间，不过个体性差异较大。在这段短期的快速损

失之后,下降速度放缓,在术后6个月以相对稳定的速度持续下降,平均恢复正常时间为22.5周(约5个月)^[14]。由此可见,术后早期内脏脂肪组织的减少是优先于皮下脂肪的,而内脏脂肪组织的减少正是术后代谢性疾病改善的关键因素,很好地解释了术后早期代谢性指标的明显改善的现象。这表明临床医生需要高度重视BS术后的早期阶段,加强对患者的监测和管理。

1.2 对皮下脂肪组织的影响

内脏脂肪组织和皮下脂肪组织之间似乎存在一种微妙的对立关系。相较于内脏脂肪组织,皮下脂肪组织具备更强的扩增能力,可作为安全的脂质储库限制异位脂质沉积,而内脏脂肪组织则更易发生脂解并分泌促炎性细胞因子。因此与内脏脂肪组织相比,皮下脂肪组织可能是一个中性甚至具有保护性的身体脂肪库,有助于降低相关代谢风险。然而,一项通过MRI对患者术后2年的观察研究^[15]显示,2年后总体FM的绝大部分减少来源于皮下脂肪组织。说明BS对不同的脂肪组织产生不同的调控^[16],在术后早期优先动员内脏脂肪组织,而在术后长期过程中皮下脂肪组织不断减少。基于此前的研究,有理由相信这种差异调控对代谢综合征的缓解十分有益。这也提示,理想的减肥策略应该优先动员内脏脂肪组织,而非皮下脂肪组织。

1.3 对体脂百分比(body fat percentage,BFP)的影响

BMI由于无法区分非脂肪质量指数(fat-free mass index,FFMI)和FM指数的变化,对代谢性疾病的缓解预测存在严重局限性。而BFP是体内脂肪占总体质量的比值,能反映人体脂肪水平的变化,Li等^[17]分析表明,BFP的变化在预测Roux-en-Y胃旁路术(Roux-en-Y gastric bypass,RYGB)后短期和长期糖尿病缓解方面,明显优于BMI的变化,特别是6个月的BFP变化在预测长期糖尿病缓解表现优异。这可能是由于早期非脂肪质量(fat-free mass,FFM)损失与总体质量减轻的比例更大,而过多的FFM损失显然不利于长期糖尿病缓解。从生物进化角度来看,BFP和糖尿病缓解之间紧密关联。所有生物的核心目标是确保生存,而人类的生存总是受到双重威胁,既有饥饿的风险(即体内用于繁殖和生命的能量储存不足)又有捕食的风险(即由于体质量过重而无法逃离捕食者的能力受损)^[18-19]。FM指数能够代表能量储存水平,

而FFMI与人类高水平的身体活动密切相关。FFMI可以加载一系列FM指数以确保最小的生存风险,这表明存在特定的BFP阈值,超过该阈值会触发胰岛素抵抗,以防止摄入的能量转化为FM并避免进一步增加体质量^[17]。这也提示我们应该更加关注BFP指标,以便更准确地预测手术效果,制定个性化治疗方案。

2 BS对LBM的影响、原因和干预

2.1 对LBM的影响

LBM定义为总体质量减去脂肪量和骨矿物质含量。肌肉组织是其中的重要组成部分,是糖原、脂肪和蛋白质的储存仓库,对于健康的新陈代谢,骨强度,温度调节和功能能力保存至关重要^[20]。骨骼肌质量(skeletal muscle mass,SMM)是LBM的主要成分。平均而言,第1年减掉的总体质量中有20%~35%是LBM,Nuijten等^[6,21]发现,BS术后LBM减轻超过8 kg,占总体质量减轻的22%。另有研究^[22]进一步发现,术后1个月内,LBM的损失更加严重,术后第1个月LBM减少量约等同于之后11个月的总减少量。值得注意的是,作为吸收不良手术,RYGB可能对肌肉骨骼系统产生更明显的影响^[23],在身体成分和人体测量结果方面比腹腔镜胃袖状切除(laparoscopic sleeve gastrectomy,LSG)表现出更高的损失,但是由于接受不同手术方案的患者身体状况差异较大,不具备同质性而不能直接进行比较^[24]。因此在BS术式选择时,需要权衡不同手术方式对LBM的潜在影响(表1)。

2.2 术后LBM的减少的原因

术后早期是LBM流失的关键阶段,超过50%的总流失量发生在术后3个月内。这种LBM的术后早期快速流失可能是多因素共同作用的结果:(1)蛋白质摄入严重不足:术后初期饮食限制(500~800 kcal/d)导致蛋白质摄入远低于推荐量(<30 g/d),从而无法满足代谢需求^[29]。(2)蛋白质合成效率低下:单次摄入蛋白质不足(<20~40 g/餐)并削弱肌肉合成能力,术后胃容量限制进一步加剧该问题^[30]。(3)蛋白质缺乏引发分解代偿:身体通过分解肌肉获取必需氨基酸,以应对术后蛋白质摄入不足的代谢危机^[31]。(4)肌肉活动受限:术后运动禁忌(如禁止抗阻训练)导致失用性肌萎缩,与蛋白质不足共同加速LBM的流失^[32]。

表 1 代谢减重手术后 1 年内身体成分的变化

Table 1 Changes in body composition within 1 year after metabolic-bariatric surgery

研究来源	手术类型	总体质量下降	FM下降	LBM下降	样本量(n)	评估方法
Jassil, 等 ^[25] (2024)	RYGB、单吻合口胃旁路术、LSG	(25.1±9.1)%	(14.2±12.7)%	(17.7±5.6)%	119	DEXA
Maïmoun, 等 ^[26] (2017)	LSG	(9.8±2.6)kg	9.5%	7.3%	41	DEXA
Brissman, 等 ^[27] (2017)	RYGB	43.4 kg	31.7 kg	8.8 kg	41	DEXA
Maïmoun, 等 ^[22] (2019)	LSG	(32.1± 10.3)kg	(22.1±3.5)kg	(17.4±4.4)kg	30	DEXA
Misra, 等 ^[28] (2020)	LSG	25.9%	23.1 kg	9.2 kg	24	DEXA

2.3 术后LBM减少的干预

鉴于术后早期 LBM 流失的严重性，实施干预措施至关重要。根据目前 LBM 减少的主要原因，其关键在于阻力运动和增加热量/蛋白质摄入量。Moizé 等^[33]确定了蛋白质的潜在作用，与营养摄入量较低的患者相比，蛋白质摄入量为≥60 g/d 的摄入量的患者在 BS 后 4 个月和 12 个月时的 LBM 保存更好。通过低热量、高蛋白饮食，同时进行体育锻炼，无论是单独进行阻力训练还是结合有氧运动，都可以增强肌肉力量和身体机能，也可能有助于更大程度地减少脂肪量，减轻了 LBM 损失^[34]。因此在术后早期的合理饮食与运动，可以最大程度地减少 LBM 的损失，保障术后的康复。

另一方面，肌肉生长抑制素-激活素-卵泡抑素系统（myostatin-activin-follistatin system，MAFI 轴）在调节肌肉质量、能量代谢和葡萄糖稳态中起关键作用，特别是在热量限制或减肥手术诱导的体质量减轻期间^[35-38]。因此靶向 MAFI 轴的新的药理学方法，存在可能的相关临床价值。肌肉生长抑制素或激活素抑制剂可能会在 FFM 保存方面最大化结果，同时促进脂肪损失。

3 BS对骨量的影响和干预

通常，BS 后 BMD 的下降被大家所忽视。现有研究证实，术后 6~24 个月患者骨转换标志物持续升高，伴随全髋关节、股骨颈及腰椎等临床关键部位 BMD 显著下降^[39]。这种骨微结构破坏与骨强度衰减现象^[40]，最终导致骨折风险系统性增加^[41-42]。Jassil 等^[25]发现术后绝对握力与瘦体质量出现损耗，但观察到相对握力及躯体功能的代偿性改善。特别强调不同术式导致的 BMD 下降不同：相比 LSG 术，OAGB 与 RYGB 对关键负重部位（髋部/脊柱）的 BMD 损害更为显著^[25]，这为临床术式

决策提供了重要风险分层依据。已经提出了几种潜在的机制来解释 BS 后的骨丢失。这些机制包括随着体质量减轻骨骼负荷的减少，肌肉质量的减少，内分泌因子的变化（脂肪因子、类固醇和肠源性激素），骨髓肥胖的改变，以及营养吸收不良（由于胃肠道的解剖学重排）和营养缺乏（由于术后饮食摄入不足）^[43-44]。因此，及时发现与治疗对患者的预后息息相关。首先是 DEXA 检测，研究认为应优先考虑骨质疏松性骨折风险较高的患者，因此，绝经后妇女、≥50 岁的男性、有使用口服皮质类固醇药物史（暴露于≥5 mg/d 的泼尼松龙，持续≥3 个月）和脆性骨折病史以及 40 岁以后有骨质疏松症危险因素的患者应常规和术前进行 DEXA。对于不需要骨质疏松症药物治疗的患者，应在 2~3 年时进行 DEXA 随访，或者如果在此期间发生脆性骨折，则应更早进行随访^[45]。毫无疑问的是在所有 BS 之前及之后，都需要足够的钙、维生素 D 和蛋白质摄入量以及足够的体育锻炼来抵消对骨骼和肌肉的负面影响。因此强烈建议根据年龄、健康状况和合并症等个体因素制定体育活动方案，包括每周 150~300 min 的中等强度运动或 75~150 min 的剧烈运动，以及肌肉强化锻炼^[46]。通过合理的运动干预，有望在一定程度上减轻骨量丢失，降低骨折风险。对于诊断为骨质疏松症的患者，根据相应的国家指南^[47]，可以考虑使用抗骨吸收药物的使用。

4 小结与展望

本文强调减重代谢术后，脂肪组织的改变对体质量及代谢结局具有重要调控作用。脂肪因子/细胞因子生成与分泌的正常化，是消除肥胖特征性慢性炎症状态及胰岛素抵抗的必要条件，这种病理状态对心血管系统具有显著危害。内脏脂肪

组织的消除以及异常脂肪组织向正常脂肪组织的转化,确保了BS后转向良性代谢,表现为总体预期寿命延长及心血管事件发生率显著下降。同时在术后早期,减重的益处可能超过LBM减轻的负担,但从长远来看,LBM的过度损失可能弊大于利。肌肉组织的大量损失可能会导致基础新陈代谢,功能障碍和生活质量的降低,同时会增加虚弱、功能障碍、死亡和心脏代谢疾病的风险^[48-49]。关键负重部位(髋部/脊柱)的BMD损害导致骨折风险系统性增加。

然而,需要认识到当前研究存在若干局限性。首先,内脏脂肪定量尚未形成统一标准:超声评估虽具可行性与安全性,但可重复性较低;而CT与磁共振虽被视作内脏脂肪定量的金标准,其高昂成本、耗时性及辐射暴露仍限制其在患者中的广泛应用。其次,BS术后,临床医生通常会推荐高蛋白饮食和术后抗阻力训练。事实上,美国代谢和减肥手术学会的实践指南要求60~80 g/d来自补充剂和食物来源。虽然大多数患者可能能够长期满足这一目标,但是这对术后早期阶段的患者而言是一个挑战。因为此时胃容量每餐仅为60~120 mL,而且食欲也被严重抑制。同时因为手术的原因,许多患者同样并不能在术后急性期完成足够的抗阻力训练。

综上所述,未来关于BS术后人体成分变化的研究,应进一步聚焦于分型明确、机制清晰和干预精准三个方面。首先,需加强对不同人群[如老年人、年轻人、肌少型肥胖、外瘦内胖(thin outside but fat inside, TOFI)]术后脂肪、LBM、BMD变化的动态追踪与分层分析,明确其特征性模式并建立风险预警机制。其次,建议充分利用多模态高分辨率影像学工具(如MRI、CT)与人工智能技术,推动术后成分变化的自动化、精细化定量评估,提升监测的敏感度与临床可操作性。同时,应结合术后成分变化与长期代谢、功能及骨骼健康结局之间的关联,构建因果推断模型,明确关键改变指标的预测价值。最后,针对不同人群的成分变化特点,探索集成营养补充、抗阻运动、骨健康管理等干预要素的个体化治疗方案,将传统的术后支持转向数据驱动的精准干预。上述方向的推进,有望在保障术后减重效果的同时,进一步提升患者整体代谢健康与长期生活质量。

作者贡献声明:李宝鹏负责研究框架设计、文献检索与整理、初稿撰写、图表制作及论文修订;高翔负责参与文献筛选与分类、数据分析及论文关键章节的书写;李鹏洲负责提供领域专业知识指导,参与研究方向的讨论,并对论文逻辑结构与学术语言进行深度修改;朱利勇负责数据验证、方法论优化及论文最终版本的校对与格式调整;朱晒红负责统筹研究整体规划,协调团队分工,监督研究质量,并负责论文投稿与学术沟通。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

参考文献

- [1] Jebeile H, Kelly AS, O'Malley G, et al. Obesity in children and adolescents: epidemiology, causes, assessment, and management[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2022, 10(5):351-365. doi: [10.1016/S2213-8587\(22\)00047-X](https://doi.org/10.1016/S2213-8587(22)00047-X).
- [2] Angrisani L, Santonicola A, Iovino P, et al. Bariatric surgery worldwide 2013[J]. *Obes Surg*, 2015, 25(10): 1822-1832. doi: [10.1007/s11695-015-1657-z](https://doi.org/10.1007/s11695-015-1657-z).
- [3] Carter J, Husain F, Papasavas P, et al. American Society for Metabolic and Bariatric Surgery review of the body mass index[J]. *Surg Obes Relat Dis*, 2025, 21(3): 199-206. doi: [10.1016/j.soard.2024.10.038](https://doi.org/10.1016/j.soard.2024.10.038).
- [4] Azagury D, Mokhtari TE, Garcia L, et al. Heterogeneity of weight loss after gastric bypass, sleeve gastrectomy, and adjustable gastric banding[J]. *Surgery*, 2019, 165(3): 565-570. doi: [10.1016/j.surg.2018.08.023](https://doi.org/10.1016/j.surg.2018.08.023).
- [5] Wu Y, Li D, Vermund SH. Advantages and limitations of the body mass index (BMI) to assess adult obesity[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2024, 21(6):757. doi:[10.3390/ijerph21060757](https://doi.org/10.3390/ijerph21060757).
- [6] Nuijten MAH, Eijsvogels TMH, Montpellier VM, et al. The magnitude and progress of lean body mass, fat-free mass, and skeletal muscle mass loss following bariatric surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Obes Rev*, 2022, 23(1):e13370. doi: [10.1111/obr.13370](https://doi.org/10.1111/obr.13370).
- [7] Albano D, Messina C, Vitale J, et al. Imaging of sarcopenia: old evidence and new insights[J]. *Eur Radiol*, 2020, 30(4):2199-2208. doi:[10.1007/s00330-019-06573-2](https://doi.org/10.1007/s00330-019-06573-2).
- [8] Li W, Richard D. Effects of bariatric surgery on energy homeostasis[J]. *Can J Diabetes*, 2017, 41(4):426-431. doi:[10.1016/j.jcjd.2017.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2017.05.002).
- [9] Blüher M. Adipose tissue dysfunction in obesity[J]. *Exp Clin Endocrinol Diabetes*, 2009, 117(6):241-250. doi: [10.1055/s-0029-1192044](https://doi.org/10.1055/s-0029-1192044).

- [10] Cui B, Duan J, Zhu L, et al. Effect of laparoscopic sleeve gastrectomy on mobilization of site-specific body adipose depots: a prospective cohort study[J]. *Int J Surg*, 2023, 109(10):3013–3020. doi:10.1097/JS9.0000000000000573.
- [11] Rodriguez Flores M, Aguilar Salinas C, Piché ME, et al. Effect of bariatric surgery on heart failure[J]. *Expert Rev Cardiovasc Ther*, 2017, 15(8):567–579. doi:10.1080/14779072.2017.1352471.
- [12] Gaborit B, Jacquier A, Kober F, et al. Effects of bariatric surgery on cardiac ectopic fat: lesser decrease in epicardial fat compared to visceral fat loss and no change in myocardial triglyceride content[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2012, 60(15): 1381–1389. doi:10.1016/j.jacc.2012.06.016.
- [13] Adami GF, Carbone F, Montecucco F, et al. Adipose tissue composition in obesity and after bariatric surgery[J]. *Obes Surg*, 2019, 29(9):3030–3038. doi:10.1007/s11695-019-04030-z.
- [14] Dustin Pooler B, Wiens CN, McMillan A, et al. Monitoring fatty liver disease with MRI following bariatric surgery: a prospective, dual-center study[J]. *Radiology*, 2019, 290(3): 682–690. doi:10.1148/radiol.2018181134.
- [15] Toro-Ramos T, Goodpaster BH, Janumala I, et al. Continued loss in visceral and intermuscular adipose tissue in weight-stable women following bariatric surgery[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2015, 23(1): 62–69. doi:10.1002/oby.20932.
- [16] Schauer PR, Bhatt DL, Kirwan JP, et al. Bariatric surgery versus intensive medical therapy for diabetes: 3-year outcomes[J]. *N Engl J Med*, 2014, 370(21):2002–2013. doi:10.1056/NEJMoa1401329.
- [17] Li SB, Zhang P, Di JZ, et al. Associations of change in body fat percentage with baseline body composition and diabetes remission after bariatric surgery[J]. *Obesity (Silver Spring)*, 2024, 32(5):871–887. doi:10.1002/oby.24003.
- [18] Speakman JR. A nonadaptive scenario explaining the genetic predisposition to obesity: the "predation release" hypothesis[J]. *Cell Metab*, 2007, 6(1):5–12. doi:10.1016/j.cmet.2007.06.004.
- [19] Speakman JR. Evolutionary perspectives on the obesity epidemic: adaptive, maladaptive, and neutral viewpoints[J]. *Annu Rev Nutr*, 2013, 33:289–317. doi:10.1146/annurev-nutr-071811-150711.
- [20] Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease[J]. *Am J Clin Nutr*, 2006, 84(3):475–482. doi:10.1093/ajcn/84.3.475.
- [21] Zalesin KC, Franklin BA, Lillystone MA, et al. Differential loss of fat and lean mass in the morbidly obese after bariatric surgery[J]. *Metab Syndr Relat Disord*, 2010, 8(1): 15–20. doi:10.1089/met.2009.0012.
- [22] Maïmoun L, Lefebvre P, Aouinti S, et al. Acute and longer-term body composition changes after bariatric surgery[J]. *Surg Obes Relat Dis*, 2019, 15(11): 1965–1973. doi:10.1016/j.soard.2019.07.006.
- [23] Chaston TB, Dixon JB, O'Brien PE. Changes in fat-free mass during significant weight loss: a systematic review[J]. *Int J Obes (Lond)*, 2007, 31(5):743–750. doi:10.1038/sj.ijo.0803483.
- [24] Bezerra A, Bopp G, Freitas L, et al. Body composition changes in adolescents who underwent bariatric surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. *Curr Obes Rep*, 2024, 13(1): 107–120. doi:10.1007/s13679-023-00549-6.
- [25] Jassil FC, Papageorgiou M, Mackay E, et al. One year changes in body composition and musculoskeletal health following metabolic/bariatric surgery[J]. *J Clin Endocrinol Metab*, 2025, 110(5):e1598–e1608. doi:10.1210/clinem/dgae496.
- [26] Maïmoun L, Lefebvre P, Jausse A, et al. Body composition changes in the first month after sleeve gastrectomy based on gender and anatomic site[J]. *Surg Obes Relat Dis*, 2017, 13(5): 780–787. doi:10.1016/j.soard.2017.01.017.
- [27] Brissman M, Ekblom K, Hagman E, et al. Physical fitness and body composition two years after roux-en-Y gastric bypass in adolescents[J]. *Obes Surg*, 2017, 27(2): 330–337. doi:10.1007/s11695-016-2282-1.
- [28] Misra M, Animashaun A, Bose A, et al. Impact of sleeve gastrectomy on hip structural analysis in adolescents and young adults with obesity[J]. *Surg Obes Relat Dis*, 2020, 16(12):2022–2030. doi:10.1016/j.soard.2020.07.020.
- [29] Bertoni L, Valentini R, Zattarin A, et al. Assessment of protein intake in the first three months after sleeve gastrectomy in patients with severe obesity[J]. *Nutrients*, 2021, 13(3): 771. doi:10.3390/nu13030771.
- [30] MacNaughton LS, Wardle SL, Witard OC, et al. The response of muscle protein synthesis following whole-body resistance exercise is greater following 40 g than 20 g of ingested whey protein[J]. *Physiol Rep*, 2016, 4(15):e12893. doi:10.14814/phy2.12893.
- [31] Daniels P, Burns RD, Brusseau TA, et al. Effect of a randomised 12-week resistance training programme on muscular strength, cross-sectional area and muscle quality in women having undergone Roux-en-Y gastric bypass[J]. *J Sports Sci*, 2018, 36(5): 529–535. doi:10.1080/02640414.2017.1322217.
- [32] Tabesh MR, Maleklou F, Ejtehadi F, et al. Nutrition, physical activity, and prescription of supplements in pre- and post-bariatric surgery patients: a practical guideline[J]. *Obes Surg*, 2019, 29(10): 3385–3400. doi:10.1007/s11695-019-04112-y.
- [33] Moizé V, Andreu A, Rodríguez L, et al. Protein intake and lean tissue mass retention following bariatric surgery[J]. *Clin Nutr*, 2013, 32(4):550–555. doi:10.1016/j.clnu.2012.11.007.
- [34] Li J, Jo U. Effects of exercise training on body composition and exercise capacity after bariatric surgery: a systematic review and

- meta-analysis[J]. Am Surg, 2025, 91(5): 843–853. doi: [10.1177/00031348251313527](https://doi.org/10.1177/00031348251313527).
- [35] Moragianni VA, Aronis KN, Chamberland JP, et al. Short-term energy deprivation alters activin a and follistatin but not inhibin B levels of lean healthy women in a leptin-independent manner[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2011, 96(12): 3750–3758. doi: [10.1210/jc.2011-1453](https://doi.org/10.1210/jc.2011-1453).
- [36] Vamvini MT, Aronis KN, Chamberland JP, et al. Energy deprivation alters in a leptin- and cortisol-independent manner circulating levels of activin A and follistatin but not myostatin in healthy males[J]. J Clin Endocrinol Metab, 2011, 96(11): 3416–3423. doi: [10.1210/jc.2011-1665](https://doi.org/10.1210/jc.2011-1665).
- [37] Perakakis N, Upadhyay J, Ghaly W, et al. Regulation of the activins-follistatins-inhibins axis by energy status: Impact on reproductive function[J]. Metabolism, 2018, 85: 240–249. doi: [10.1016/j.metabol.2018.05.003](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2018.05.003).
- [38] Bouzoni E, Perakakis N, Mantzoros CS. Circulating profile of Activin-Follistatin-Inhibin Axis in women with hypothalamic amenorrhea in response to leptin treatment[J]. Metabolism, 2020, 113:154392. doi: [10.1016/j.metabol.2020.154392](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2020.154392).
- [39] Beavers KM, Greene KA, Yu EW. MANAGEMENT OF ENDOCRINE DISEASE: bone complications of bariatric surgery: updates on sleeve gastrectomy, fractures, and interventions[J]. Eur J Endocrinol, 2020, 183(5):R119–R132. doi: [10.1530/EJE-20-0548](https://doi.org/10.1530/EJE-20-0548).
- [40] Hansen S, Jørgensen NR, Hermann AP, et al. Continuous decline in bone mineral density and deterioration of bone microarchitecture 7 years after Roux-en-Y gastric bypass surgery[J]. Eur J Endocrinol, 2020, 182(3):303–311. doi: [10.1530/EJE-19-0741](https://doi.org/10.1530/EJE-19-0741).
- [41] Paccou J, Martignène N, Lespessailles E, et al. Gastric bypass but not sleeve gastrectomy increases risk of major osteoporotic fracture: French population-based cohort study[J]. J Bone Miner Res, 2020, 35(8):1415–1423. doi: [10.1002/jbmr.4012](https://doi.org/10.1002/jbmr.4012).
- [42] Liu CT, Sahni S, Xu H, et al. Long-term and recent weight change are associated with reduced peripheral bone density, deficits in bone microarchitecture, and decreased bone strength: the Framingham osteoporosis study[J]. J Bone Miner Res, 2018, 33(10):1851–1858. doi: [10.1002/jbmr.3472](https://doi.org/10.1002/jbmr.3472).
- [43] Paccou J, Tsourdi E, Meier C, et al. Bariatric surgery and skeletal health: a narrative review and position statement for management by the European calcified tissue society (ECTS) [J]. Bone, 2022, 154:116236. doi: [10.1016/j.bone.2021.116236](https://doi.org/10.1016/j.bone.2021.116236).
- [44] Papageorgiou M, Biver E. Bone consequences of intentional weight loss in overweight or obese patients[J]. Rev Med Suisse, 2023, 19(823):756–760. doi: [10.53738/revmed.2023.19.823.756](https://doi.org/10.53738/revmed.2023.19.823.756).
- [45] Paccou J, Caiazzo R, Lespessailles E, et al. Bariatric surgery and osteoporosis[J]. Calcif Tissue Int, 2022, 110(5): 576–591. doi: [10.1007/s00223-020-00798-w](https://doi.org/10.1007/s00223-020-00798-w).
- [46] Piercy KL, Troiano RP, Ballard RM, et al. The physical activity guidelines for Americans[J]. JAMA, 2018, 320(19):2020–2028. doi: [10.1001/jama.2018.14854](https://doi.org/10.1001/jama.2018.14854).
- [47] Albergaria BH, Chalem M, Clark P, et al. Consensus statement: osteoporosis prevention and treatment in Latin America-current structure and future directions[J]. Arch Osteoporos, 2018, 13(1):90. doi: [10.1007/s11657-018-0505-x](https://doi.org/10.1007/s11657-018-0505-x). doi: [10.1007/s11657](https://doi.org/10.1007/s11657).
- [48] van Venrooij LM, Verberne HJ, de Vos R, et al. Postoperative loss of skeletal muscle mass, complications and quality of life in patients undergoing cardiac surgery[J]. Nutrition, 2012, 28(1):40–45. doi: [10.1016/j.nut.2011.02.007](https://doi.org/10.1016/j.nut.2011.02.007).
- [49] Zhou N, Scoubeau C, Forton K, et al. Lean mass loss and altered muscular aerobic capacity after bariatric surgery[J]. Obes Facts, 2022, 15(2):248–256. doi: [10.1159/000521242](https://doi.org/10.1159/000521242).

(本文编辑 熊杨)

本文引用格式:李宝鹏,高祥,李鹏洲,等.减重代谢手术对人体成分影响的研究现状与展望[J].中国普通外科杂志,2025,34(4):625–631. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250100](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250100)

Cite this article as: Li BP, Gao X, Li PZ, et al. Body composition changes following bariatric-metabolic surgery: present understanding and prospective developments[J]. Chin J Gen Surg, 2025, 34(4):625–631. doi: [10.7659/j.issn.1005-6947.250100](https://doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.250100)