

手术机器人导航系统在皮肤真皮层抽脂中的应用

邓红柳¹, 赵丽丽², 李静³, 罗茜⁴

(1. 安康市人民医院皮肤科 陕西 安康 725000; 2. 西安交通大学第一附属医院皮肤科 陕西 西安 710061;
3. 复旦大学附属华山医院皮肤科 上海 200040; 4. 安康市中医医院皮肤科 陕西 安康 725000)

摘要 **目的:** 研究手术机器人的导航系统在皮肤真皮层抽脂的应用效果。**方法:** 回顾性分析 2022 年 1 月—2023 年 1 月西安交通大学第一附属医院收治的 61 例肥胖患者, 根据治疗方式的不同将其分为观察组 (采用手术机器人导航系统进行皮肤真皮层抽脂, 34 例) 和对照组 (采用常规抽脂术, 27 例)。比较两组患者 BMI、腰臀比、血清瘦素、满意度、反弹情况、情绪状态并分析其与治疗方法的相关性。比较两组患者并发症情况。**结果:** 治疗后, 观察组 BMI、腰臀比、血清瘦素低于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。治疗方法与满意度呈正相关, 与 BMI、腰臀比、血清瘦素、反弹、并发症事件、HAMD 评分为负相关。BMI、腰臀比、血清瘦素、反弹、并发症事件、HAMD 评分两两间互为正相关。观察组满意度高于对照组, 反弹少于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。治疗后, 观察组 HAMD 低于对照组, 差异有统计学意义 ($P<0.05$)。观察组皮肤瘀斑、感染、并发症事件发生率均低于对照组 ($P<0.05$)。**结论:** 手术机器人导航系统应用于皮肤真皮层抽脂比单一抽脂术效果更佳, 可减少脂肪, 降低腰臀比, 减少并发症发生, 提高满意度, 改善患者情绪。

关键词 机器人辅助手术; 导航系统; 皮肤真皮层抽脂

中图分类号 R622 **文献标识码** A **文章编号** 2096-7721 (2024) 03-0472-06

Application of navigation system of surgical robot in skin dermis liposuction

DENG Hongliu¹, ZHAO Lili², LI Jing³, LUO Qian⁴

(1. Department of Dermatology, Ankang People's Hospital, Ankang 725000, China; 2. Department of Dermatology, the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710061, China; 3. Department of Dermatology, Huashan Hospital Affiliated to Fudan University, Shanghai 200040, China; 4. Department of Dermatology, Ankang Traditional Chinese Medicine Hospital, Ankang 725000, China)

Abstract **Objective:** To study the application effect of navigation system of surgical robots in skin dermis liposuction. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on 61 obese patients who were treated in the First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University from January 2022 to January 2023. The patients were divided into the observation group ($n=34$) and the control group ($n=27$) according to different liposuction methods. Dermis liposuctions assisted by the navigation system of surgical robot were performed in the observation group and conventional liposuctions were adopted in the control group. BMI, waist to hip ratio, serum leptin, patient satisfaction rate, rebound, and emotional status between the two groups of patients were compared, and the correlation between the above indicators with liposuction methods was analyzed. The incidence of complications between the two

收稿日期: 2024-03-06 录用日期: 2024-04-20

Received Date: 2024-03-06 Accepted Date: 2024-04-20

基金项目: 陕西省自然科学基金项目 (2019JM-SF-0054)

Foundation Item: Natural Science Foundation Project of Shaanxi Province (2019JM-SF-0054)

通讯作者: 罗茜, Email: 18706798819@163.com

Corresponding Author: LUO Qian, Email: 18706798819@163.com

引用格式: 邓红柳, 赵丽丽, 李静, 等. 手术机器人导航系统在皮肤真皮层抽脂中的应用 [J]. 机器人外科学杂志 (中英文), 2024, 5 (3): 472-477.

Citation: DENG H J, ZHAO L L, LI J, et al. Application of navigation system of surgical robot in skin dermis liposuction [J]. Chinese Journal of Robotic Surgery, 2024, 5(3): 472-477.

groups of patients were also compared. **Results:** After treatment, the BMI, waist to hip ratio, and serum leptin in the observation group were lower than those in the control group ($P<0.05$). The liposuction method was positively correlated with patient satisfaction, but negatively correlated with BMI, waist to hip ratio, serum leptin, rebound, complications, and HAM-D score. BMI, waist to hip ratio, serum leptin, rebound, complication events, and HAM-D score were positively correlated in pairwise comparison. The patient satisfaction rate of the observation group was higher than that of the control group, and the rebound was less than that of the control group ($P<0.05$). After treatment, the HAM-D scores of the observation group was lower than those of the control group ($P<0.05$). The incidence of skin bruising, infection, and complications in the observation group were lower than those in the control group ($P<0.05$). **Conclusion:** The navigation system of surgical robot is more effective in skin dermis liposuction than conventional liposuction surgery, which can reduce fat, lower waist to hip ratio, decrease complications, improve patients' satisfaction rate and mood.

Key words Robot-assisted Surgery; Navigation System; Skin Dermis Liposuction

肥胖是指体内脂肪堆积过多，导致体重严重超标并对健康造成负面影响的一种状态^[1-2]。肥胖的原因包括遗传、饮食、运动、内分泌、心理等因素，会增加心血管疾病、糖尿病、高血压等健康问题^[3-4]。肥胖者若是通过控制饮食、锻炼身体等方法无法减轻体重，或已伴有肥胖并发症、局部脂肪堆积影响行动的患者均可通过抽脂手术进行减肥。抽脂手术是通过皮肤小切口入皮下脂肪层，利用真空压缩机将真皮层中多余的脂肪抽出，改善皮肤表面的形态，使皮肤更加紧致和光滑。传统抽脂手术主要局限于重度肥胖者，塑形手术有一定局限性，术后容易引发感染、瘢痕等术后并发症。近年来，随着医疗技术的不断发展，手术机器人已经成为现代医疗领域的重要工具^[5-8]，手术机器人导航系统也逐渐被应用于皮肤真皮层抽脂中。采用手术机器人导航系统进行抽脂手术，不仅可以实时跟踪手术器械的位置和运动轨迹，帮助医生更好地掌握手术进程，还可以通过高精度的定位和操作减少手术误差和操作难度，提高手术效果和患者舒适度^[9-11]。目前临床上关于该项技术的研究不多，且在本地区并无相关报道。本研究回顾性分析本院采用手术机器人导航系统进行皮肤真皮层抽脂的效果。现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 回顾性分析 2022 年 1 月—2023 年 1 月西安交通大学第一附属医院收治的 61 例肥胖患者，根据治疗方式的不同将其划分为观察组（34 例）和对照组（27 例），观察组采用手术机器人的导航系统进行皮肤真皮层抽脂，对照组采用传统单一抽脂术。患者年龄 33~62 岁，其中观察组男性 20 例，女性 14 例，未婚或离异 17 例，已婚 17 例，小学及初中文化 14 例，高中及大专有 13 例，本科及以上有 7 例，平均

年龄（ 45.62 ± 8.89 ）岁；对照组男性 16 例，女性 11 例，未婚或离异 11 例，已婚 16 例，小学及初中文化 6 例，高中及大专有 15 例，本科及以上有 6 例，平均年龄（ 47.89 ± 7.93 ）岁。两组患者在性别、年龄等方面比较，差异无统计学意义（ $P>0.05$ ），具有可比性。

纳入标准：①诊断标准：在亚太地区，男性腰围超过 90 cm，女性腰围超过 80 cm，可诊断为肥胖。测量时应采用最低肋骨下缘与髂嵴最高点的中点作为测量点。患者需保持直立，在平静呼气状态下，使用软尺环绕测量部位，确保松紧适度。测量时，应避免吸气，并确保软尺各部分均处于水平位置；②年龄 ≥ 18 岁；③资料齐全。

排除标准：①合并其他严重恶性肿瘤者；②并发严重肠道、肝肾、心肺疾病者；③并发严重心血管疾病、凝血功能异常疾病者；④皮肤严重松弛、糖尿病、孕妇、哺乳女性、“精神性贪食症致肥胖”等不适宜抽脂手术者；⑤严重精神病患者。

1.2 治疗方法 术前开展血常规、凝血功能、肝肾功能、心电图和空腹血糖等常规检查评估患者健康状况，检查结果均显示正常，提示患者的身体状况适合进行抽脂手术。对照组采用常规抽脂方式，抽脂手术在静脉麻醉下进行，抽脂部位首先进行肿胀麻醉，肿胀液的配方为生理盐水 1000 ml + 2% 利多卡因 15 ml + 0.1% 盐酸肾上腺素 1 ml + 5% 碳酸氢钠 10 ml。手术部位选择上下腹部、腰部、大腿、臀部和上臂等身体脂肪堆积明显的部位进行抽吸。一次手术通常会处理 2~4 个部位，肿胀液的用量根据手术部位的数量和大小而有所不同，一般为 1500~6000 ml（平均 2800 ml）。手术过程中，主要抽取真皮深层脂肪，并尽可能避免损伤纤维隔和血管神经。每次手术抽出纯脂肪 800~4000 ml（平均 2500 ml）。

为促进恢复和塑形,患者术后需穿戴专用抽脂衣1~3个月,并遵守医生的建议,按时进行复查,注意合理饮食和适量运动,以保持体形。

观察组采用达芬奇手术机器人导航系统进行皮肤真皮层抽脂,操作步骤如下:①图像采集。使用移动式X光摄像诊断设备对患者的皮肤进行图像采集。采集的图像分辨率应不低于1080p,以保证导航系统能够准确识别手术定位标尺与患者体表的相对位置;②图像注册。导航系统通过识别手术定位标尺与患者体表的相对位置,自动完成图像的注册。注册的精度应达到 $\pm 0.5\text{ mm}$,以确保手术器械能够准确跟踪;③手术规划。在主控台上,医生使用专门的手术计划与控制软件,基于采集的图像对手术进行详细的规划。手术规划时,应明确抽脂的区域、抽脂的深度以及抽脂的数量;④自动定位。导航系统根据医生确认的手术路径,控制机械臂移动,将手术部位精确定位。定位精度应达到 $\pm 0.2\text{ mm}$,以确保手术器械能够准确到达预定的手术区域;⑤实施手术。在导航系统的引导下,使用专用的微型抽脂针进行皮肤真皮层抽脂手术。手术结束后,遵循医嘱,合理膳食,合理运动,改善体形。

1.3 观察指标 比较两组患者BMI、腰臀比、血清瘦素、满意度、反弹、情绪并分析其与治疗方法的相关性,并比较并发症情况。

1.4 统计学方法 所有数据均采用SPSS 25.0软件进行统计学分析,连续数据以Kolmogorov-Smirnov检验进行正态分布检验,符合的计量资

料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示,组间采用独立样本 t 检验,组内比较采用成对样本 t 检验;不符合的采用四分位数 $M(Q25, Q75)$,采用非参数秩和检验。计数资料用 $n(\%)$ 表示,采用交叉表卡方 χ^2 检验。以 $P<0.05$ 表示差异有统计学意义。

2 结果

2.1 正态分布检验 BMI(治疗前、治疗后),腰臀比(治疗后),血清瘦素(治疗前)均符合正态分布,采用均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)表示;腰臀比(治疗前),血清瘦素(治疗后),HAM-D(Hamilton Rating Scale for Depression)评分(治疗前、治疗后)不符合正态分布,采用四分位数 $M(Q25, Q75)$ 表示。见表1。

2.2 两组患者临床效果 治疗前,两组患者BMI、腰臀比、血清瘦素相比,差异无统计学意义($P>0.05$)。治疗后,观察组BMI、腰臀比、血清瘦素低于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。见表2。

2.3 术后各因素相关性 治疗方法与满意度呈正相关,与BMI、腰臀比、血清瘦素、反弹、并发症事件、HAMD呈负相关;BMI、腰臀比、血清瘦素、反弹、并发症事件、HAM-D评分两两间互为正相关(如图1)。

2.4 两组患者满意度、反弹和情绪情况 两组相比,观察组患者的满意度高于对照组,反弹例数少于对照组,差异有统计学意义($P<0.05$)。两组患者治疗前HAM-D评分相比,差异无统

表1 正态分布检验结果
Table 1 Normal distribution test results

指标	样本量	均数 ± 标准差	偏度	峰度	Kolmogorov-Smirnov 检验	
					D 值	P 值
BMI (分)						
治疗前	61	31.251 ± 1.817	0.210	−0.648	0.052	0.952
治疗后	61	26.108 ± 1.817	0.090	−0.778	0.068	0.696
腰臀比						
治疗前	61	0.937 ± 0.034	0.235	−0.893	0.121	0.028
治疗后	61	0.750 ± 0.073	0.101	−0.575	0.071	0.63
血清瘦素 (μg/L)						
治疗前	61	17.612 ± 5.516	−0.076	−1.052	0.089	0.261
治疗后	61	13.251 ± 5.983	−0.352	−1.283	0.137	0.006
HAM-D (分)						
治疗前	61	19.754 ± 1.192	0.191	−0.820	0.179	<0.001
治疗后	61	12.656 ± 2.081	0.673	−0.301	0.181	<0.001

计学意义 ($P>0.05$)；治疗后，观察组患者的 HAM-D 评分低于对照组，差异有统计学意义 ($P<0.05$)。见表 3。

2.5 两组患者并发症情况 观察组患者皮肤瘀斑、感染、并发症事件发生率均低于对照组 ($P<0.05$)；两组患者腹部血肿发生情况相比，差异无统计学意义 ($P>0.05$)。见表 4。

3 讨论

抽脂是通过手术的方式将身体某一部位多余的脂肪抽出，以达到局部迅速瘦体的目的。对于体重相对正常但局部脂肪堆积明显的人，如腹部、臀部、大腿等部位，抽脂手术可以有效地解决堆积脂肪，改善体形^[12-13]。对于过度

肥胖的人，抽脂可减少体内的脂肪含量，减轻体重，改善肥胖引起的健康问题。

BMI 是评估体重是否健康和肥胖风险的指标。本研究中，BMI 下降，表明抽脂效果显现，但也不可忽视反弹情况的发生。腰臀比是通过测量腰围和臀围来评估腹部脂肪积累的重要指标。腰臀比越高，表明腹部脂肪越多，肥胖和相关健康风险越高。血清瘦素是由脂肪组织分泌的激素，其在血清中的含量与动物脂肪组织大小成正比，可作用于中枢神经系统的受体，调控生物的行为以及新陈代谢^[14]。Krause B J 等人^[15]指出，肥胖会导致瘦素水平增加，可能会导致机体炎症，影响身心健康。Han W 等人^[16]认为体内瘦素水平过高，会引发瘦素抵抗，即使

表 2 两组患者临床效果
Table 2 Clinical effects on the two groups of patients

指标	对照组 (n=27)	观察组 (n=34)	t 值	P 值
BMI (分)				
治疗前	31.42 ± 1.63	31.11 ± 1.97	0.654	0.516
治疗后	27.08 ± 2.64	25.34 ± 2.44	2.68	0.010 ^a
腰臀比				
治疗前	0.930(0.9, 1.0)	0.940(0.9, 1.0)	-0.445	0.656
治疗后	0.79 ± 0.06	0.71 ± 0.06	4.956	0.000 ^a
血清瘦素 (μg/L)				
治疗前	18.36 ± 5.82	17.02 ± 5.28	0.946	0.348
治疗后	5.630(8.9, 18.9)	14.325(4.8, 18.4)	-0.995	0.320

注：^a $P<0.05$

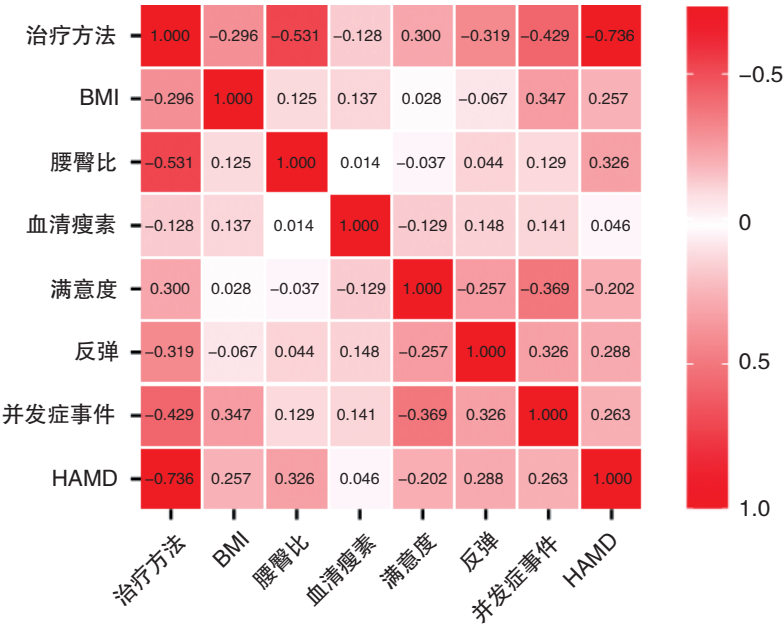


图 1 术后各因素相关性

Figure 1 Postoperative correlation of involved factors

表 3 两组患者满意度、反弹和情绪情况

Table 3 Patient satisfaction, rebound and mood of the two groups

组别	满意度		反弹		HAM-D 评分	
	不满意	满意	无	有	治疗前	治疗后
对照组 (<i>n</i> =27)	6 (22.22)	21 (77.78)	19 (70.37)	8 (29.63)	20.0 (19.0, 21.0)	14.0 (13.0, 15.0)
观察组 (<i>n</i> =34)	1 (2.94)	33 (97.06)	32 (94.12)	2 (5.88)	19.5 (19.0, 20.0)	11.0 (10.0, 12.0)
$\chi^2/t/Z$ 值	5.507		6.192		-1.546	-5.701
<i>P</i> 值	0.019		0.013		0.122	<0.001

表 4 两组患者并发症情况 [*n* (%)]

Table 4 Complications in the two groups of patients[*n* (%)]

指标	对照组 (<i>n</i> =27)	观察组 (<i>n</i> =34)	总计	χ^2 值	<i>P</i> 值
皮肤瘀斑				5.721	0.017
无	18 (66.67)	31 (91.18)	49 (80.33)		
有	9 (33.33)	3 (8.82)	12 (19.67)		
腹部血肿				2.148	0.143
无	21 (77.78)	31 (91.18)	52 (85.25)		
有	6 (22.22)	3 (8.82)	9 (14.75)		
感染				8.380	0.004
无	21 (77.78)	34 (100.00)	55 (90.16)		
有	6 (22.22)	0 (0.00)	6 (9.84)		
并发症事件				12.359	0.002
无	12 (44.44)	28 (82.35)	40 (65.57)		
1 种	9 (33.33)	6 (17.65)	15 (24.59)		
2 种	6 (22.22)	0 (0.00)	6 (9.84)		

身体合成足够的瘦素，大脑也无法接收到信号，从而导致食欲增加、过度饮食，同时代谢率下降，脂肪合成增加。所以，控制瘦素水平也是治疗肥胖的有效方式。本研究中，观察组 BMI、腰臀比、血清瘦素低于对照组，这说明在手术机器人的导航系统辅助下进行抽脂，能够更加精准地去除多余的脂肪，减小 BMI 值，降低腰臀比。

本研究中，观察组患者满意度高于对照组，反弹例数少于对照组，HAM-D 评分低于对照组，这表明手术机器人导航系统辅助下的皮肤真皮层抽脂术优于传统抽脂术，这是因为手术机器人导航系统应用于皮肤真皮层抽脂术可精确地定位和跟踪手术部位，能够实现高精度、高稳定性的手术操作。手术机器人的导航系统能够实时监测手术部位的位置和状态，及时发现和纠正手术中的错误，确保手术的安全性^[16-17]。相比之下，传统抽脂术主要依靠医生的经验和手感进行操作，存在一定的风险和不确定性，而应用手术机器人

的导航系统进行抽脂手术可减少周围组织的损伤，降低术后并发症，减少术后反弹，提高患者的满意度。此外，手术机器人的导航系统可根据患者的具体情况进行评估，设计个性化的手术方案，满足患者需求，减少手术创伤和术后并发症，进而缩短恢复期，提高手术效果持久性^[18-20]。本研究中，肥胖患者的满意度、反弹和 HAM-D 评分与治疗方式具有相关性。肥胖患者在接受抽脂手术后，如果手术效果良好，术后恢复顺利，满意度自然会提高。重要的是，肥胖患者在抽脂手术后的一段时间内，要保持健康的饮食习惯和生活方式，才能避免发生反弹。反之，体重会再次增加。肥胖患者由于肥胖导致的行动不便、身心疲乏，加之抽脂手术的不确定性等，容易发生焦虑、抑郁症状，导致 HAM-D 评分升高。因此，对于有抑郁症状的肥胖患者，除了手术治疗外，还需开展心理干预。

需要注意的是，抽脂不能使人完全变瘦，

也不能代替减肥。抽脂手术只能消除臀部、腹壁等部位单靠一般减肥方法难以奏效的过度肥胖，对于内脏脂肪堆积的情况效果不佳，所以此类患者需要通过饮食和运动来消耗内脏脂肪。此外，抽脂手术可能会发生感染、血肿、斑块等并发症。本研究中，观察组并发症少于对照组，这与手术机器人导航系统辅助下的抽脂手术创伤小、愈合快相关。由于本研究属于单中心小样本研究，研究结果可能有一定的偏差，还需大样本、多中心的研究进一步佐证。此外，手术机器人导航系统辅助下的抽脂手术由于要用到各种传感器和设备，其成本较高，在基层医院可能面临资金不足、操作技术人员缺失等问题，该类设备仍需降本增效以满足基层医院需求。

综上所述，手术机器人导航系统辅助下皮肤真皮层抽脂手术比传统抽脂术更具优势，可减少脂肪，降低腰臀比，减少并发症发生，提高患者满意度，改善患者情绪。

利益冲突声明：作者均声明无任何利益冲突。

作者贡献说明：①邓红柳负责文章构思、撰写和修改工作；②赵丽丽负责数据资料整理和录入工作；③李静负责数据统计学分析工作；④罗茜负责文章审阅、修改工作。

参考文献

- [1] 刘琼,付中喜,刘慧琳,等.湖南省18岁及以上超重肥胖患者自我评价体重水平低估情况及影响因素分析[J].中国健康教育,2023,39(7):605-610.
- [2] 任时,翟玲玲,栾德春,等.青春期早期男生超重肥胖的影响因素研究[J].中国健康教育,2023,39(6):561-565.
- [3] 袁丙坤,彭成,伍成凯,等.广州市城镇职工超重肥胖和中心性肥胖现状及影响因素分析[J].中国健康教育,2023,39(5):404-409.
- [4] 张迷磊,杨琼,陈海燕,等.肥胖类型与壮族中老年居民心血管疾病危险因素发生及聚集情况的分析[J].广西医科大学学报,2023,40(9):1564-1569.
- [5] 皮宁,孔庆颂,李龙飞,等.静脉全麻联合硬膜外麻醉在抽脂术中的临床应用效果观察[J].临床医学工程,2022,29(9):1211-1212.
- [6] 王立铨,龙笑.脂肪水肿的研究进展[J].基础医学与临床,2021,41(3):438-441.
- [7] 俞亚转,朱传龙,杜永国,等.腹部抽脂术后感染塞内加尔分枝杆菌1例[J].中国热带医学,2022,22(12):1215-1218.
- [8] 陈建军,蒯权,程子龙,等.女性腹部精细形体雕塑术的临床效果分析[J].中国美容医学,2022,31(10):14-16.
- [9] Berthet-Rayne P, Yang G Z. Navigation with minimal occupation volume for teleoperated snake-like surgical robots: MOVE[J]. Front Robot AI, 2023. DOI: 10.3389/frobt.2023.1211876.
- [10] SUN M, RAO L, ZHANG C, et al. Analysis of influence of surgical instruments on accuracy of magnetic navigation system for craniofacial surgery robots[J]. Comput Assist Surg (Abingdon), 2023. DOI: 10.1080/24699322.2023.2210744.
- [11] Kim B S, ZHANG Z W, SUN M Z, et al. Feasibility of a Robot-assisted surgical navigation system for mandibular distraction osteogenesis in hemifacial microsomia: a model experiment[J]. J Craniofac Surg, 2023, 34(2): 525-531.
- [12] La Padula S, Ponzo M, Lombardi M, et al. Nanofat in plastic reconstructive, regenerative, and aesthetic surgery: a review of advancements in face-focused applications[J]. J Clin Med, 2023. DOI: 10.3390/jcm12134351.
- [13] Moellhoff N, Kuhlmann C, Frank K, et al. Arterial embolism after facial fat grafting: a systematic literature review[J]. Aesthetic Plast Surg, 2023 Dec, 47(6): 2771-2787.
- [14] Montes-de-Oca-García A, Perez-Bey A, Corral-Pérez J, et al. Influence of gender on plasma leptin levels, fat oxidation, and insulin sensitivity in young adults: the mediating role of fitness and fatness[J]. Nutrients, 2023. DOI: 10.3390/nu15112628.
- [15] Krause B J, Vega-Tapia F A, Soto-Carrasco G, et al. Maternal obesity and high leptin levels prime pro-inflammatory pathways in human cord blood leukocytes[J]. Placenta, 2023. DOI: 10.1016/j.placenta.2023.08.069.
- [16] Han W, Wang L, Ohbayashi K, et al. Glucose-dependent insulinotropic polypeptide counteracts diet-induced obesity along with reduced feeding, elevated plasma leptin and activation of leptin-responsive and proopiomelanocortin neurons in the arcuate nucleus[J]. Diabetes Obes Metab, 2023 Jun, 25(6): 1534-1546.
- [17] WU Z J, CHEN D Y, PAN C, et al. Surgical robotics for intracerebral hemorrhage treatment: state of the art and future directions[J]. Ann Biomed Eng, 2023 Sep, 51(9): 1933-1941.
- [18] Park S H, Kim K Y, Kim Y M, et al. Patient-specific virtual three-dimensional surgical navigation for gastric cancer surgery: a prospective study for preoperative planning and intraoperative guidance[J]. Front Oncol, 2023. DOI: 10.3389/fonc.2023.1140175.
- [19] LI R X, Davoodi A, CAI Y Y, et al. Development and evaluation of robot-assisted ultrasound navigation system for pedicle screw placement: an ex-vivo animal validation[J]. Int J Med Robot, 2023. DOI: 10.1002/rcs.2590.
- [20] WANG J, ZHANG X K, CHEN X R, et al. A touch-free human-robot collaborative surgical navigation robotic system based on hand gesture recognition[J]. Front Neurosci, 2023. DOI: 10.3389/fnins.2023.1200576.

编辑：刘静凯