



doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.009
http://dx.doi.org/10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.009
China Journal of General Surgery, 2024, 33(9):1422-1429.

· 专题论坛 ·

力学原理在胰十二指肠切除术中的应用：“1管2针3缝”式胰肠吻合术（附视频）

张津鸣, 沙洪存, 陈鸣宇

(浙江大学医学院附属邵逸夫医院 普通外科, 浙江 杭州 310016)

摘要

胰肠吻合是胰腺重建手术中最具挑战性的步骤之一, 其影响患者的预后。胰腺具有形态上窄下宽、组织脆弱、富含消化酶以及肠道持续蠕动等特点, 这些因素易导致胰肠吻合口的松动和术后胰瘘的发生。通过力学建模分析及临床实践总结, 笔者提出了一种基于力学原理的胰肠吻合方法。该方法概括为“1管2针3缝”, 即1根胰管支撑管、2种和2根不同缝线以及3种不同的缝合方法。本文将详细介绍这一操作方法, 并深入解析其技术原理。此外, 对笔者中心病例进行回顾性分析总结发现, 该方法可有效降低术后胰瘘的发生率。

关键词

胰十二指肠切除术; 胰管空肠吻合术; 力学; 胰腺瘘

中图分类号: R657.5

Application of mechanical principles in pancreaticoduodenectomy: "1-tube, 2-needle, 3-suture" pancreaticojejunostomy (with video)

ZHANG Jinming, SHA Hongcun, CHEN Mingyu

(Department of General Surgery, Sir Run-Run Shaw Hospital, Zhejiang University, Hangzhou 310016, China)

Abstract

The pancreaticojejunostomy is one of the most challenging steps in pancreatic reconstruction surgery, and its success directly impacts the patient's prognosis. The pancreas has characteristics such as being narrow at the top and wide at the bottom, fragile in texture, rich in digestive enzymes, and subject to constant intestinal peristalsis. These factors can easily lead to the loosening of the pancreaticojejunostomy site and the occurrence of postoperative pancreatic fistula. Through mechanical modeling analysis and a summary of clinical practice, the authors propose a pancreaticojejunostomy method based on mechanical principles. This method is summarized as "1-tube, 2-needle, 3-suture" method, which refers to one pancreatic duct stent tube, two types and two strands of different sutures, and three different suturing techniques. This article will provide a detailed introduction to this operative method and deeply analyze its technical principles. Additionally, a retrospective analysis of cases from the authors' center found that this method can effectively reduce the incidence of postoperative pancreatic fistula.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (82473007)。

收稿日期: 2024-07-09; 修订日期: 2024-08-25。

作者简介: 张津鸣, 浙江大学医学院附属邵逸夫医院实习医师, 主要从事肝胆胰外科方面的研究。

通信作者: 陈鸣宇, Email: mychen@zju.edu.cn

Key words Pancreaticoduodenectomy; Pancreaticojejunostomy; Mechanics; Pancreatic Fistula
CLC number: R657.5

力学原理被广泛应用于外科手术,也是外科技术发展的重要推动因素^[1-2]。随着微创腔镜技术和理念不断发展,外科手术已从传统的开放术式逐步迈向微创腔镜的新时代,这一变迁对医生的技术操作提出了更为严苛的要求^[3-5]。在此背景下,力学原理对手术操作的指导与应用,无疑成为提升手术质量的一大突破点。特别是在需要进行细致解剖操作时,力学的精妙运用更是显得尤为关键^[6]。因此,通过对手术过程中力的精准控制与优化,以及对力学原理的深入解析,可以为外科医生提供更加科学、有效的操作指导,从而助力他们更安全、更高效地完成各类复杂的手术操作^[7-13]。

在过去的百余年间,胰十二指肠切除术始终占据着肝胆胰外科领域的制高点,其难度与风险之高,历来为医学界所公认。术后常伴随着胆汁漏、胰瘘、出血等严重并发症,而胰肠吻合的质量,更是决定手术成功与否的关键因素,备受学者们的广泛关注与深入研究^[14-17]。若从力学的视角深入剖析胰肠吻合的过程,不仅能够为这一高度复杂的手术操作开辟新的思维路径,更能以此为契机,推动力学原理在外科实践的广泛应用。本文旨在深入探讨当前力学研究成果在胰肠吻合术领域的实际应用情况,通过文献分析并结合本中心的临床实践经验,展示本中心基于力学原理的胰肠吻合技术创新,希望为胰肠吻合术提供更加坚实有力的理论支撑和技术指导。

1 胰肠吻合术中的力学研究与临床应用优化

1.1 连续缝合技术在降低胰腺损伤中的力学优势

2014年, Neychev等^[18]深入剖析了针与胰腺交互作用时的力学特性及其在临床操作中的策略。该研究指出,在胰肠吻合术中,缝合操作所引发的综合力学效应,特别是剪切力,可能导致胰腺实质的形变与撕裂,进而加剧术后胰瘘等并发症发生的风险。从力学原理出发,研究详细阐述了剪切力与压缩力对手术成效的深远影响。通过细

致的受力分析, Neychev等^[18]发现,缝针穿透胰腺组织时,不仅会产生垂直方向的压缩力,还会伴随有水平方向的剪切力,二者共同作用,对胰腺造成双重压力。为此,该研究提出了采用“大半径”缝针(注意:此处“大半径”指的是缝针的形状设计,而非简单指粗细)的策略,旨在通过分散压力、减少挤压,使胰腺的受力更加集中于针尖出针的方向,从而减轻对胰腺组织的损伤。此外,还介绍了双臂缝合技术。在这种技术中,两条缝线在肠壁表面同步拉紧,形成的剪切力被巧妙地重新导向至肠壁,而非胰腺,进而极大地降低了对胰腺的额外压力,实现了对胰腺的最小化损伤。这一系列技术调整,不仅有效降低了剪切力和压缩力的产生,还显著改善了手术的力学效应,最终实现了胰腺损伤的最小化。值得注意的是,研究^[19-21]也表明,连续板层胰肠吻合术在减少缝合过程中对胰腺组织的应力集中、促进吻合口愈合方面具有显著优势。该技术通过精细的分层缝合,实现了胰腺与肠道的逐层连接,既保证了吻合口的紧密性,又显著降低了术后并发症的发生率。随着缝合技术的不断进步和缝合材料的持续优化,胰腺组织在手术过程中的机械损伤得到了更加有效的控制,术后并发症发生率也呈明显下降趋势。综上所述,通过优化缝合针和缝线的选择与设计,可以显著提升胰肠吻合术的成功率与安全性。

1.2 精准力学反馈技术与肠道负压在胰肠吻合治疗中的革新应用

在胰肠吻合术的研究与实践中,除了对针线与胰腺组织相互作用的深入探索外,力反馈系统的引入也为腹腔镜手术带来了革命性的变化。这一技术为外科医生提供了实时的操作力反馈信息,使得手术过程更加精准可控,从而大大提高了腹腔镜胰十二指肠切除术的安全性与成功率^[22-25]。此外,肠道负压技术的应用也进一步改善了手术条件与治疗效果,为胰肠吻合术的临床应用开辟了新的途径。在胰肠吻合术后,若使肠道产生一定的负压,能够有效减缓胰液的渗出,促进吻合口的愈合^[26]。

综上所述,力学原理在胰肠吻合术中的应用,为优化手术技术、减少术后并发症提供了重要的理论和技术支持。通过合理选择缝合针和缝线、改进缝合技术、应用力反馈系统以及合理利用术后负压引流等方案,可以显著降低并发症,改善患者术后的生存质量。

2 基于力学理论的胰肠吻合术的介绍与剖析

笔者提出的基于力学原理的胰肠吻合术,精髓可凝练为“1管2针3缝”法,即依托1根胰管支撑导管,结合2种类型与2根差异化缝线的应用,以及实施3种精心设计的缝合策略。首先,选定并放置适宜粗细的胰管支撑导管,为防止胰腺支撑管早期脱落及胰肠吻合口结构的稳定性和牢固性,匠心独运地采用了2种类型与2根独特缝线

策略(图1):其一,选用1根可吸收缝线巧妙固定胰腺侧的支撑导管,既稳固又便于后续吸收,避免长期异物留存之虞;其二,另1根可吸收缝线则精细地用于收紧小肠侧荷包结构,牢固固定小肠侧支撑管。此外,不可吸收缝线在此亦扮演重要角色,1根用于后壁缝合,增强结构强度,另1根则专注前壁缝合,细致入微,两者相互独立,即便其中1根出现松动,另1根亦能独当一面,为胰肠吻合的稳定性提供双重保险,助力患者快速康复。最终,在考虑胰肠吻合口力学特性的基础上,巧妙地融入了3种缝合策略:于小肠侧胰管支撑管固定之前,先从胰腺上缘实施全程贯穿缝合,奠定稳固基础;支撑管固定之后,转而进行半程后壁缝合,以强化后部结构;至于前壁,则采取宽基底的连续缝合方式,确保缝合区域广阔且均匀受力,整体缝合过程连贯而高效。

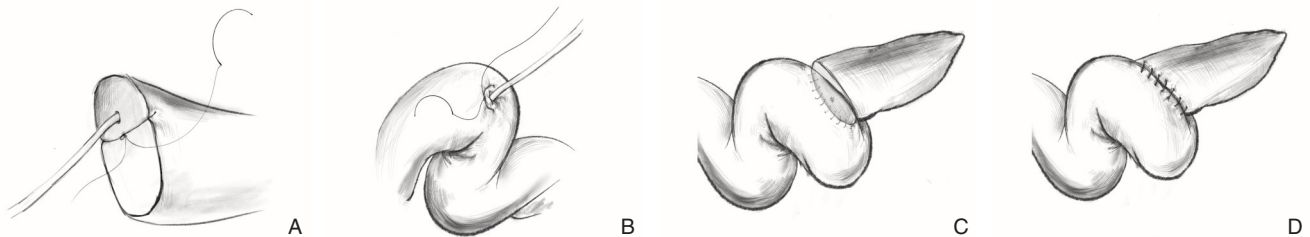


图1 2种和2根不同缝线的区别和目的 A-B: 使用2根可吸收缝线固定胰管支撑管,缝线被吸收后支撑管可自行脱落; C-D: 使用2根不可吸收缝线进行前后壁的吻合,1根缝线脱落时另1根不受影响,保证吻合的牢固性

Figure 1 Differences and purposes of two types of sutures and two sutures A-B: Using two absorbable sutures to secure the pancreatic duct support tube; once the sutures are absorbed, the support tube can detach on its own; C-D: Using two non-absorbable sutures for the anastomosis of the anterior and posterior walls; when one suture detaches, the other remains unaffected, ensuring the stability of the anastomosis

2.1 “1管2针3缝”胰肠吻合术

具体步骤:(1)选择与胰管口径相契合的支撑导管,前端剪数个侧孔后精准置入胰管,确保侧孔隐蔽不外露,随后利用3-0 VICRYL(可吸收缝线)固定其于胰腺残端(图2A)。(2)选取3-0 PROLENE或PDS缝线,在胰腺上缘先行8字缝合,结扎胰腺上缘小的动静脉,可有效扼制胰腺创面的出血(图2B)。(3)回归胰腺残端上缘起始进针,自胰腺顶端始,全程贯穿缝合,缝制3~4针,直至支撑管所在位置(图2C)。(4)在空肠侧面,借助超声刀或电凝刀开凿小孔,将支撑管的另一端嵌入,随即采用新的3-0 VICRYL(可吸收缝线)

行“U”型缝合,收拢肠侧荷包,减少胰腺支撑管侧边的胰瘘(图2D-E)。(5)延续使用首根3-0 PROLENE或PDS缝线,连续缝合胰腺后壁与空肠,直至胰腺下缘,最终在肠侧出针(图2F)。(6)使用新的3-0 PROLENE或PDS缝线,在胰腺下缘再次行8字缝合,随后重返胰腺残端下缘起始进针,于肠侧与首根3-0 PROLENE或PDS缝线打结固定(图2G)。(7)最后,行前壁宽基底的胰肠连续缝合,肠壁与胰腺各取约1~1.5 cm宽度,确保覆盖超过一半的肠腔空间(图2H)。“1管2针3缝”胰肠吻合术手术过程见视频1。

上述步骤主要借鉴洪德飞教授的“洪氏一针法”^[27]、彭淑牖教授的“捆绑式胰肠吻合”^[28-29]以及陈孝平院士的“陈氏吻合”^[30-31]等技术理论。借鉴于洪氏一针法,在主胰管内插入支撑管并固定,创建“人工瘘管”,使其有足够的时间等待胰腺残端与空肠浆肌层完成粘连性愈合,可以避免胰肠吻合口瘘的发生。同时胰液通过支撑管进入肠腔,可以减少胰液在手术过程中渗出到腹腔内,从而

减少术后感染和胰痿的风险。通过从胰腺上缘开始进行全程贯穿缝合,中段时改行半程后壁连续吻合,直至胰腺下缘并最后在小肠侧出针,最后行前壁宽基底缝合,吻合完成后的吻合口从轴位截面看类似于“鲨鱼嘴”形状^[28-29,32]。上述胰肠吻合后的状态类似于彭淑牖教授的“捆绑式胰肠吻合”^[28-29]以及陈孝平院士的“陈氏吻合”^[30-31]。

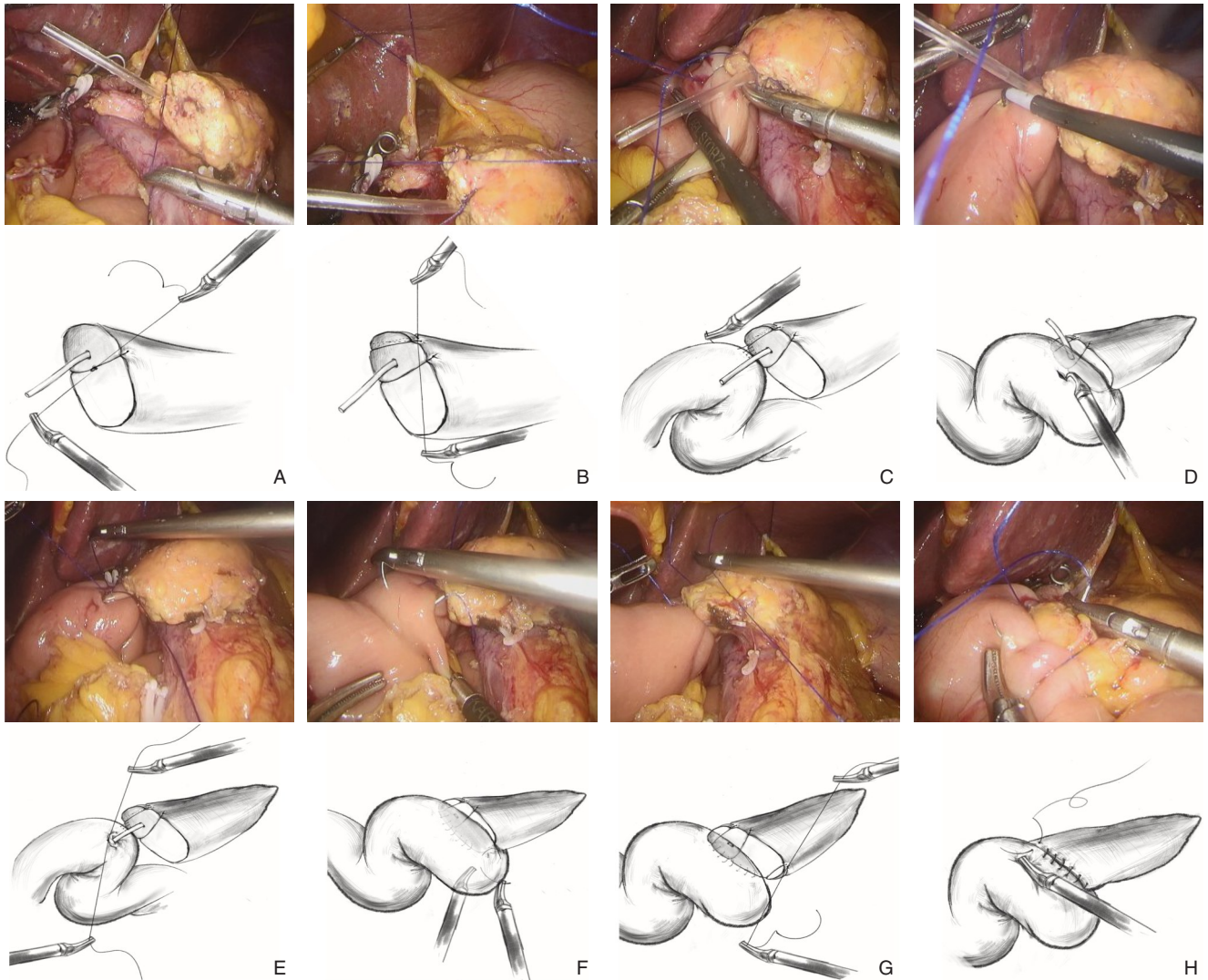


图2 胰肠吻合手术步骤拆解 A: 固定胰腺端支撑管; B: 胰腺上缘8字缝合止血; C: 全程贯穿缝合; D: 空肠开孔; E: “U”型缝合固定肠端支撑管; F: 半程后壁缝合; G: 胰腺下缘8字缝合止血; H: 半程前壁宽基底缝合

Figure 2 Detailed steps of pancreaticojejunostomy procedure A: Fixing the pancreatic end support stent; B: Hemostasis with 8-shaped suture on the upper edge of the pancreas; C: Continuous through-and-through suturing; D: Opening in the jejunum; E: "U"-shaped suturing to fix the intestinal end support stent; F: Partial posterior wall suturing; G: Hemostasis with 8-shaped suture on the lower edge of the pancreas; H: Partial anterior wall wide-base suturing with a wide base



视频1 “1管2针3缝”胰肠吻合术手术

Video 1 The "1-tube, 2-needle, 3-suture" pancreaticojejunostomy

扫描至移动设备观看手术视频:



<http://www.zpwz.net/zgptwkzz/article/html/PW240360>

2.2 “1管2针3缝”胰肠吻合术的力学深度剖析

本文中研究团队立足于器官组织的自然特性，在胰肠吻合过程中，精妙地借势肠壁环形肌的自发性收缩力，使肠管更为紧密地包绕胰腺残端，以此显著降低胰瘘的发生率。这种基于组织自身的生物力学特性来优化手术效果，笔者称之为“生物自驱动外科力学”。从力学视角深入审视，“1管2针3缝”的技术架构，确保了吻合口在三维空间内的全面稳定性，能够有效抵御术后各类潜在的机械应力冲击，从而极大提升了手术的稳固性和安全性。通过实施分段、分层的精细化缝合策略，不仅缓解了单一组织层面的应力集中现象，更实现了机械应力的均衡分散，有效降低了组织撕裂及渗漏的潜在风险。

在此理论框架下，环形肌的受力机制成为本中心胰肠吻合术实践中的核心考量因素，同时也为胰腺前壁宽基底缝合技术奠定了坚实的理论基础。胃肠道的独特解剖结构，由斜肌层、环形肌层及纵肌层交织而成，这三层肌肉共同塑造了肠道的力学特性。无论是肌肉的自主收缩，还是管腔内部容器所引发的外力作用，都会促使肠道组织依据力学规律进行自我重塑。在此过程中，上皮细胞及非上皮细胞均会承受形式多样的机械力作用，而环形肌的规律性收缩则尤为关键，它能够在组织周边引发强烈的切向力效应^[33]。

未采用宽基底缝合时，空肠对胰腺的包绕程度有限，此时环形肌的收缩力方向趋于指向肠腔内部（图3A）；相反，当引入宽基底缝合技术，并

在胰腺前后壁实施差异化的缝合处理（后壁常规缝合，前壁宽基底缝合），术后空肠前壁便能在持续的环形肌收缩作用下，如“鲨鱼之口”般紧紧咬住胰腺组织（图3B）。进一步对这两种缝合方式进行理论上的受力分析（图4），可以清晰地看到，环形肌的收缩能够在吻合口处生成一种自然的夹持力，有效缓解吻合口的张力积聚，从而大幅降低术后渗漏的风险，显著提升吻合口的稳固性^[34-36]，相比之下，传统的吻合方式则难以达到如此理想的力学效果。更值得一提的是，环形肌在缝合点处的收缩作用，还能形成一种自然的固定与密封机制，这对于减少术后并发症具有重要意义。因此，深入理解并合理运用这种生物力学原理，将之巧妙融入胰肠吻合术的设计之中，无疑将为该领域的未来发展开辟出一条充满希望的新路径。

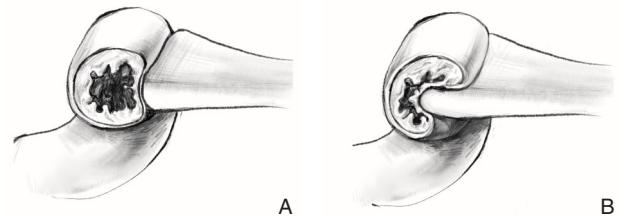


图3 采用与不采用宽基底连续缝合后吻合口的变化 A: 普通缝合，胰腺残端未被小肠包裹；B: 宽基底连续缝合，胰腺残端被小肠包裹

Figure 3 Changes in anastomosis with and without wide base continuous suturing A: Standard suturing, pancreatic stump not covered by the small intestine; B: Wide base continuous suturing, pancreatic stump covered by the small intestine

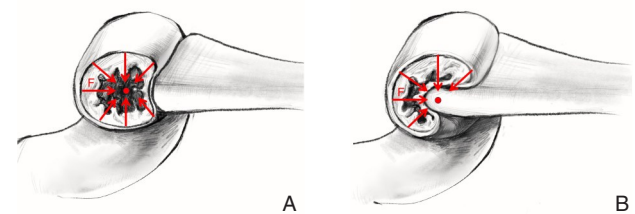


图4 胰肠吻合后的空肠环形肌受力分析（ F 表示环形肌的收缩力， \rightarrow 表示收缩力方向） A: 普通吻合完毕后环形肌的张力状态；B: 宽基底连续缝合后空肠环形肌的张力状态

Figure 4 Analysis of force on the jejunal circular muscle after pancreaticojejunostomy (F representing the contraction force of the circular muscle, and \rightarrow indicating the contraction force direction) A: Tension state of the circular muscle after standard anastomosis; B: Tension state of the jejunal circular muscle after wide base continuous suturing

3 基于力学胰肠吻合术的安全性分析

回顾性分析2023年6月—2024年4月期间笔者团队实施的43例涉及胰肠吻合术的手术患者,包括胰腺癌16例,胆管癌7例,壶腹部肿瘤8例,以及其他病变类型12例(表1)。患者平均年龄为(60.9±4.7)岁,其中男性患者28例,女性15例。在手术类型方面,接受Whipple手术的患者36例,其余接受单纯的胰肠吻合术的患者7例。术后引流管淀粉酶监测数据显示,第1天引流管淀粉酶平均值为3 474 IU/L。随着时间的推移,这一指标逐渐趋于稳定,术后1周后引流管淀粉酶值超过血清淀粉酶值3倍以上的患者仅有6例。值得注意的是,术后有4例(9.3%)患者出现了胰瘘,仅1例发展为了严重的C级胰瘘,并诱发了出血症状,但该患者及时接受介入栓塞术后,病情发展得到有效控制。令人欣慰的是,15 d内无患者因并发症或其他原因而再入院,且在90 d的随访期内无死亡病例。

表1 本中心基于力学胰肠吻合术的病例资料

Table 1 Case data of mechanical pancreaticojejunostomy from our center

项目	数值
年龄(岁, $\bar{x} \pm s$)	60.9±4.7
性别[n(%)]	
男	28(65.1)
女	15(34.9)
手术类型[n(%)]	
Whipple	36(83.7)
单纯胰肠吻合术	7(16.3)
病理类型[n(%)]	
胰腺癌	16(37.2)
胆管癌	7(16.3)
壶腹部肿瘤	8(18.6)
其他病变	12(17.9)
胰肠吻合用时(min, $\bar{x} \pm s$)	15±5
术后第1天引流管淀粉酶(IU/L, $\bar{x} \pm s$)	3 475±4 624
术后1周引流管淀粉酶(IU/L)	
≥500	6(14.0)
<500	37(86.0)
术后胰瘘[n(%)]	
C级胰瘘	1(2.3)
A/B级胰瘘	3(7.0)
15 d内再入院[n(%)]	0(0.0)
90 d内死亡[n(%)]	0(0.0)

4 结 语

力学原理在微创外科手术领域的巧妙运用,正引领着外科诊疗技术的革新与飞跃。这一应用不仅赋予了外科医生前所未有的精准操作能力,更显著降低了手术风险,提升了手术成功率,为患者术后的生活质量带来了实质性的改善。随着科学技术的日新月异,融合力学特性的手术器械正逐步在个性化医疗与智能手术体系的构建中扮演关键角色^[37-38]。展望未来,力学模型与人工智能技术的深度融合,或将催生出更为智能的手术机器人,它们将成为医生的得力助手,共同应对复杂手术挑战。与此同时,利用生物体内组织自驱动的力学特征提升外科手术的效率和质量将成为外科力学领域探索的新高地。有理由相信,随着技术的不断突破与理论实践的深度融合,力学原理在外科手术中的应用前景将愈发广阔,势必将外科手术的精准性与安全性推向新的高度^[39-40]。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

作者贡献声明:张津鸣为文章主要撰写人,负责完成文章初稿的写作;沙洪存参与文章修改;陈鸣宇指导论文写作和修改,提供手术视频以及绘图指导。全体作者都阅读并同意最终的文本。

参考文献

- [1] Takabi B, Tai BL. A review of cutting mechanics and modeling techniques for biological materials[J]. Med Eng Phys, 2017, 45:1-14. doi:10.1016/j.medengphy.2017.04.004.
- [2] Teot L, Ohura N. Challenges and management in wound care[J]. Plast Reconstr Surg, 2021, 147(1S-1): 9S-15S. doi: 10.1097/PRS.0000000000007628.
- [3] Chang K, Gokcal F, Kudsi OY. Robotic biliary surgery[J]. Surg Clin North Am, 2020, 100(2): 283-302. doi: 10.1016/j.suc.2019.12.002.
- [4] Cundy TP, Thangaraj E, Rafii-Tari H, et al. Force-Sensing Enhanced Simulation Environment (ForSense) for laparoscopic surgery training and assessment[J]. Surgery, 2015, 157(4):723-731. doi:10.1016/j.surg.2014.10.015.
- [5] Rosen M, Ponsky J. Minimally invasive surgery[J]. Endoscopy, 2001, 33(4):358-366. doi:10.1055/s-2001-13689.
- [6] Zhao Z, Gu J. Open surgery in the era of minimally invasive surgery[J]. Chung Kuo Yen Cheng Yen Chiu, 2022, 34(1): 63-65.

- doi:10.21147/j.issn.1000-9604.2022.01.06.
- [7] 蔡秀军, 胡家豪. 肝脏微创外科近10年的发展与展望[J]. 中华外科杂志, 2024, 62(1):6-9. doi:10.3760/cma.j.cn112139-20231107-00217.
- Cai XJ, Hu JH. Minimally invasive liver surgery: progress in the last decade and evolving trends[J]. Chinese Journal of Surgery, 2024, 62(1):6-9. doi:10.3760/cma.j.cn112139-20231107-00217.
- [8] Madadi-Sanjani O, Petersen C, Ure B. Minimally invasive hepatobiliary surgery[J]. Clin Perinatol, 2017, 44(4):805-818. doi:10.1016/j.clp.2017.08.004.
- [9] McCarron FN, Vrochides D, Martinie JB. Current progress in robotic hepatobiliary and pancreatic surgery at a high-volume center[J]. Ann Gastroenterol Surg, 2023, 7(6): 863-870. doi:10.1002/ags3.12737.
- [10] Goodwin K, Nelson CM. Mechanics of development[J]. Dev Cell, 2021, 56(2):240-250. doi:10.1016/j.devcel.2020.11.025.
- [11] Laleman W, Vanderschueren E, Mehdi ZS, et al. Endoscopic procedures in hepatology: current trends and new developments[J]. J Hepatol, 2024, 80(1):124-139. doi:10.1016/j.jhep.2023.08.032.
- [12] Kim S, Uroz M, Bays JL, et al. Harnessing mechanobiology for tissue engineering[J]. Dev Cell, 2021, 56(2):180-191. doi:10.1016/j.devcel.2020.12.017.
- [13] 彭承宏. 机器人辅助外科手术系统临床应用的现状与前景[J]. 中华肝胆外科杂志, 2011, 17(8): 606-609. doi:10.3760/cma.j.issn.1007-8118.2011.08.003.
- Peng CH. Status and prospects in clinical application of robotic assisted surgery system[J]. Chinese Journal of Hepatobiliary Surgery, 2011, 17(8): 606-609. doi:10.3760/cma.j.issn.1007-8118.2011.08.003.
- [14] Cameron JL, He J. Two thousand consecutive pancreaticoduodenectomies[J]. J Am Coll Surg, 2015, 220(4):530-536. doi:10.1016/j.jamcollsurg.2014.12.031.
- [15] Suzuki Y, Fujino Y, Tanioka Y, et al. Selection of pancreaticojejunostomy techniques according to pancreatic texture and duct size[J]. Arch Surg, 2002, 137(9):1044-1047. doi:10.1001/archsurg.137.9.1044.
- [16] Kawaida H, Kono H, Hosomura N, et al. Surgical techniques and postoperative management to prevent postoperative pancreatic fistula after pancreatic surgery[J]. World J Gastroenterol, 2019, 25(28):3722-3737. doi:10.3748/wjg.v25.i28.3722.
- [17] Andrianello S, Pea A, Pulvirenti A, et al. Pancreaticojejunostomy after pancreaticoduodenectomy: Suture material and incidence of postoperative pancreatic fistula[J]. Pancreatol, 2016, 16(1):138-141. doi:10.1016/j.pan.2015.11.004.
- [18] Neychev VK, Sladinger PF. Minimizing shear and compressive stress during pancreaticojejunostomy: rationale of a new technical modification[J]. JAMA Surgery, 2014, 149(2): 203-207. doi:10.1001/jamasurg.2013.2256.
- [19] 白雪莉, 陈伟, 梁廷波. 中国腹腔镜胰十二指肠切除术20年胰肠重建术式变迁与未来发展[J]. 中华普外科手术学杂志:电子版, 2021, 15(3): 250-254. doi:10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2021.03.004.
- Bai XL, Chen W, Liang TB. Laparoscopic pancreaticoduodenectomy over a 20-year period in China-Evolution of reconstruction following pancreaticojejunostomy[J]. Chinese Journal of Operative Procedures of General Surgery: Electronic Edition, 2021, 15(3): 250-254. doi:10.3877/cma.j.issn.1674-3946.2021.03.004.
- [20] 陈勇军, 尹新民, 吴河水, 等. 陈氏贯穿纵向"U"型胰肠吻合术的理论与实践[J]. 中国实用外科杂志, 2021, 41(6):668-672. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2021.06.09.
- Chen YJ, Yin XM, Wu HS, et al. Theory and practice of Chen's penetrating longitudinal "U" pancreaticojejunostomy[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2021, 41(6):668-672. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2021.06.09.
- [21] 李德宇. 精准胰十二指肠切除术的技术要点[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2017, 31(3): 213-215. doi:10.13507/j.issn.1674-3474.2017.03.002.
- Li DY. Technical points of accurate pancreaticoduodenectomy[J]. Journal of Chinese Practical Diagnosis and Therapy, 2017, 31(3): 213-215. doi:10.13507/j.issn.1674-3474.2017.03.002.
- [22] Tholey G, Desai JP, Castellanos AE. Force feedback plays a significant role in minimally invasive surgery: results and analysis[J]. Ann Surg, 2005, 241(1): 102-109. doi:10.1097/01.sla.0000149301.60553.1e.
- [23] Overtom EM, Horeman T, Jansen FW, et al. Haptic feedback, force feedback, and force-sensing in simulation training for laparoscopy: a systematic overview[J]. J Surg Educ, 2019, 76(1): 242-261. doi:10.1016/j.jsurg.2018.06.008.
- [24] Rodrigues SP, Horeman T, Sam P, et al. Influence of visual force feedback on tissue handling in minimally invasive surgery[J]. Br J Surg, 2014, 101(13):1766-1773. doi:10.1002/bjs.9669.
- [25] Dinesh S, Poonguzhali S, Satish Devakumar M, et al. A prospective study on a suture force feedback device for training and evaluating junior surgeons in anastomotic surgical closure[J]. Surg Innov, 2024:15533506241264382. doi:10.1177/15533506241264382.
- [26] 刘亮, 徐志航, 王文权, 等. 精准联合综合策略防治胰十二指肠切除术后胰瘘[J]. 中华消化外科杂志, 2023, 22(5):657-662. doi:10.3760/cma.j.cn115610-20230401-00143.
- Liu L, Xu ZH, Wang WQ, et al. Prevention and management of pancreatic fistula after pancreatoduodenectomy with precise and comprehensive opinion[J]. Chinese Journal of Digestive Surgery,

- 2023, 22(5): 657-662. doi: 10.3760/cma.j.cn115610-20230401-00143.
- [27] 洪德飞, 刘建华, 刘亚辉, 等. 一针法胰肠吻合用于腹腔镜胰十二指肠切除多中心研究[J]. 中国实用外科杂志, 2018, 38(7):792-795. doi:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2018.07.23.
- Hong DF, Liu JH, Liu YH, et al. Single-stitch pancreatic duct suture for pancreaticojejunostomy in laparoscopic pancreaticoduodenectomy: a multiple center prospective study[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2018, 38(7): 792-795. doi: 10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2018.07.23.
- [28] 彭淑牖, 刘颖斌, 牟一平, 等. 捆绑式胰肠吻合术-150例临床应用[J]. 中华医学杂志, 2002, 82(6):368-370. doi:10.3760/j:issn:0376-2491.2002.06.004.
- Peng SY, Liu YB, Mou YP, et al. Binding pancreaticojejunostomy: clinical report of 150 cases[J]. National Medical Journal of China, 2002, 82(6):368-370. doi:10.3760/j:issn:0376-2491.2002.06.004.
- [29] 彭淑牖, 刘颖斌, 牟一平, 等. 捆绑式胰肠吻合术 100 例报告[J]. 胰腺病学, 2001, 1(1): 43-45. doi: 10.3760/cma.j.issn.1674-1935.2001.01.017.
- Peng SY, Liu YB, Mou YP, et al. A report of 100 cases on the binding pancreaticojejunostomy[J]. Chinese Journal of Pancreatology, 2001, 1(1): 43-45. doi: 10.3760/cma.j.issn.1674-1935.2001.01.017.
- [30] 陈孝平, 张志伟, 张必翔, 等. 双“U”形贯穿缝合法行胰腺-空肠端端套入式吻合[J]. 中华外科杂志, 2007, 45(5):355-356. doi: 10.3760/j.issn: 0529-5815.2007.05.020.
- Chen XP, Zhang ZW, Zhang BX, et al. End-to-end nested pancreaticojejunostomy by double "U" -shaped through suture method[J]. Chinese Journal of Surgery, 2007, 45(5):355-356. doi: 10.3760/j.issn: 0529-5815.2007.05.020.
- [31] 陈孝平. 陈氏贯穿胰腺连续缝合法行肠壁内翻套入式胰肠吻合术的几点体会[J]. 腹部外科, 2019, 32(2):77-79. doi:10.3969/j.issn.1003-5591.2019.02.001.
- Chen XP. Experiences of Chen's continuous suture through the pancreas for intussusception pancreaticojejunostomy of intestinal wall[J]. Journal of Abdominal Surgery, 2019, 32(2): 77-79. doi: 10.3969/j.issn.1003-5591.2019.02.001.
- [32] 洪德飞, 刘亚辉, 刘建华, 等. 腹腔镜胰肠吻合技术[J]. 中国实用外科杂志, 2022, 42(5): 539-549. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2022.05.15.
- Hong DF, Liu YH, Liu JH, et al. Techniques of laparoscopic pancreaticoduodenostomy[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2022, 42(5): 539-549. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2022.05.15.
- [33] Avvari KR. Biomechanics of the small intestinal contractions[M]// Digestive System-Recent Advances. London: IntechOpen, 2020. doi: 10.5772/intechopen.86539.
- [34] 颜伟康, 刘颖斌. 胰肠吻合方式发展历史与现状[J]. 中国实用外科杂志, 2022, 42(4): 464-467. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2022.04.21.
- Yan WK, Liu YB. The history and recent advances of pancreaticojejunostomy[J]. Chinese Journal of Practical Surgery, 2022, 42(4): 464-467. doi: 10.19538/j. cjps. issn1005-2208.2022.04.21.
- [35] Li MX, Wang HY, Yuan CH, et al. Shark mouth pancreaticojejunostomy reduced the rate of clinically related pancreatic fistula: a historic cohort comparative analysis[J]. HPB (Oxford), 2022, 24(5):727-736. doi:10.1016/j.hpb.2021.09.023.
- [36] Shrikhande SV, Sivasanker M, Vollmer CM, et al. Pancreatic anastomosis after pancreatoduodenectomy: a position statement by the International Study Group of Pancreatic Surgery (ISGPS) [J]. Surgery, 2017, 161(5):1221-1234. doi:10.1016/j.surg.2016.11.021.
- [37] Anteby R, Horesh N, Soffer S, et al. Deep learning visual analysis in laparoscopic surgery: a systematic review and diagnostic test accuracy meta-analysis[J]. Surg Endosc, 2021, 35(4): 1521-1533. doi:10.1007/s00464-020-08168-1.
- [38] Taylor ZA, Cheng M, Ourselin S. High-speed nonlinear finite element analysis for surgical simulation using graphics processing units[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2008, 27(5): 650-663. doi: 10.1109/TMI.2007.913112.
- [39] Queisner M, Eisenträger K. Surgical planning in virtual reality: a systematic review[J]. J Med Imaging (Bellingham), 2024, 11(6): 062603. doi:10.1117/1.JMI.11.6.062603.
- [40] Miller K. Computational biomechanics for patient-specific applications[J]. Ann Biomed Eng, 2016, 44(1): 1-2. doi: 10.1007/s10439-015-1519-9.
- (本文编辑 姜晖)
- 本文引用格式:**张津鸣,沙洪存,陈鸣宇.力学原理在胰十二指肠切除术中的应用:“1管2针3缝”式胰肠吻合术(附视频)[J].中国普通外科杂志, 2024, 33(9): 1422-1429. doi: 10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.009
- Cite this article as:** Zhang JM, Sha HC, Chen MY. Application of mechanical principles in pancreaticoduodenectomy: "1-tube, 2-needle, 3-suture" pancreaticojejunostomy (with video) [J]. Chin J Gen Surg, 2024, 33(9):1422-1429. doi:10.7659/j.issn.1005-6947.2024.09.009