

微创手术器械夹持端结构的精度提升设计研究

陈博华¹ 丁浩亮² 张永海³ 邵婷婷⁴

1. 懿煜(青岛)医疗科技有限公司 山东 青岛 266000

2. 青岛海尔生物医疗股份有限公司 山东 青岛 266000

3. 青岛海尔生物医疗股份有限公司 山东 青岛 266000

4. 青岛汉唐生物科技有限公司 山东 青岛 266000

【摘要】微创手术器械在医学领域的应用日益广泛，其中夹持端结构的精度直接影响手术操作的精确度与安全性。为提高微创手术器械的夹持精度，本文基于当前微创手术器械的设计现状，提出了一种新的夹持端结构优化方案。通过分析夹持端的关键技术参数，运用精密加工与智能控制技术，设计了一种高精度夹持端结构。实验结果表明，该设计在实际应用中能够显著提升器械的操作精度，减少手术误差，并有效提高手术成功率。该研究为微创手术器械的进一步优化提供了理论依据与技术支持。

【关键词】微创手术；器械设计；夹持端；精度提升；结构优化

DOI:10.12417/2705-0998.25.19.019

引言

微创手术因其创伤小、恢复快的特点成为现代医学的重要手术方式。然而，微创手术中对精确操作的要求极高，尤其是夹持端结构的精度问题，往往成为影响手术效果的关键因素。夹持端作为手术器械的核心部件，其设计精度直接影响到手术的精确度与安全性。因此，如何提升夹持端结构的精度，是当前微创手术器械优化的重要研究方向。基于此，设计一种具有更高精度的夹持端结构，不仅能提高手术过程的稳定性，还能大幅提升手术的成功率。本文将围绕这一问题展开深入研究，提出解决方案并进行实验验证。

1 夹持端精度提升的现状与挑战

微创手术器械在医疗行业中的应用日益广泛，特别是在腹腔镜手术和内窥镜手术中，器械的精度对手术效果至关重要。夹持端作为手术器械的重要组成部分，承担着精确抓取、操控组织和实施治疗的任务。由于手术操作环境的特殊性，夹持端的精度要求更高，微小的误差都可能导致手术失败或患者的术后并发症。因此，提升夹持端结构的精度成为提高微创手术安全性和成功率的关键。

目前，大多数微创手术器械的夹持端结构精度仍受到材料限制、加工精度、设计结构等多重因素的影响。传统的夹持端设计大多侧重于操作的灵活性与适应性，而忽视了夹持精度的提升。这导致了在高精度手术需求下，器械在操作过程中容易发生偏差，甚至无法精准夹持细小的组织结构。随着手术技术的发展，对微创器械的夹持精度要求愈加严格，夹持端的精度问题日益突显。

夹持端精度的提升面临许多挑战。首先，微创手术对器械的灵活性和操作空间要求较高，夹持端的设计需保证在有限的空间内能够精准操作，这对结构的复杂性提出了更高要求。材料的选择和加工工艺对夹持端的精度影响较大。微创器械需要

具备较高的耐用性与稳定性，选材不当或加工精度不足，都会导致夹持端的误差累积，影响整体精度。随着手术的不断深入，夹持端的控制系统需要更高的智能化和精确性，如何将先进的控制技术与机械结构结合，成为提升夹持端精度的另一个关键难题。在此背景下，研究和设计出更加精确、稳定、且具有高度可调性的夹持端结构显得尤为重要。只有突破现有技术瓶颈，解决夹持端精度提升中的各种难题，才能为微创手术的进一步发展提供更为精确的技术支持。

2 关键参数分析与设计优化策略

在提升微创手术器械夹持端结构精度的过程中，关键参数的分析与设计优化是至关重要的。夹持端的精度不仅取决于设计本身，还受到多个技术参数的影响，包括材料特性、结构形态、连接方式、力学性能以及控制系统的反馈精度。针对这些因素的综合分析，可以为优化设计提供理论依据和技术路径。材料的选择对夹持端的精度影响巨大。微创手术器械要求材料不仅具备足够的强度和耐用性，还应具备良好的加工性能和稳定的尺寸保持性。高强度合金材料或钛合金材料通常用于制造夹持端的主要部件，因为它们能够在保证较小的体积和重量的同时，提供足够的力学支撑。这些材料的加工难度较大，需要使用精密加工技术才能确保其尺寸的精准度。材料的热膨胀系数和耐腐蚀性也需在设计时予以考虑，避免由于热胀冷缩或腐蚀导致夹持端的误差累积，从而影响手术的精度和安全性。

结构形态与夹持端的稳定性密切相关。在微创手术中，夹持端的设计必须兼顾灵活性和刚性，确保其在操作过程中能够精确地抓取和控制组织，但又不至于因过度刚性而限制操作的灵活性。因此，夹持端的结构需要根据手术类型和操作需求进行个性化设计。采用模块化结构或可调节的设计理念，可以在保证结构稳定性的同时，提供更大的操作空间和灵活性，从而提升整体的夹持精度。通过合理的结构优化，可以有效减小器

械在操作过程中的误差，提高手术的精准度。

在夹持端精度提升的过程中，连接方式也是一个至关重要的参数。夹持端通常需要通过一系列的传动装置与控制系统进行连接，包括齿轮、杠杆、弹簧等部件。各个传动装置的配合和调节直接影响夹持端的操作稳定性。若传动系统设计不合理，容易导致误差积累或操控不精确。因此，在设计时，必须对各个连接部件的精度进行严格控制，确保其能够精确传递操控信号，避免因摩擦、变形或松动等问题而导致操作失误。力学性能是另一个关键因素，尤其是在夹持端需要承受外力或在一定范围内进行精确操作时。夹持端在夹取组织时，其受力状态会对夹持精度产生直接影响。设计时需要考虑力的传递与分配，确保夹持端能够均匀、稳定地分布外力，防止夹持过度或不足。对力学性能的优化可以通过有限元分析等计算方法进行模拟，以评估不同设计方案的力学响应，进而优化设计方案。

控制系统的精度也是提升夹持端精度的关键。随着智能化技术的发展，基于传感器反馈的精密控制系统可以实现对夹持端操作的实时调整。传感器的灵敏度、信号处理的速度和精度，以及系统的响应能力都直接决定了夹持端的精确性。通过集成先进的控制技术，可以实现更为精细的夹持动作，从而大幅提高微创手术中的夹持精度。对上述各项关键参数的全面分析和优化，不仅可以提升夹持端的精度，还能够在微创手术中发挥更为重要的作用，最终实现更高效、安全的手术效果。

3 高精度夹持端结构的设计方案

高精度夹持端结构的设计需要综合考虑材料、力学性能、操作灵活性及智能控制等多个因素，以确保其在微创手术中能够达到精确操作的要求。在设计过程中，首先应关注夹持端的形态与尺寸精度，确保其在各种手术环境中都能稳定、精确地执行任务。针对手术器械中夹持端的特点，优化设计应注重减少结构复杂性，减少误差源，确保高精度的同时，保证结构的简洁与稳定性。夹持端的主要设计目标是确保其在夹持不同类型组织时，能够精确施力。采用模块化设计理念，能够根据手术需求调整夹持端的形状和力学特性。每个模块的连接部件需要确保高度匹配和紧密配合，避免因连接松动或部件不匹配导致夹持误差。通过精密加工技术制造每个部件，确保它们在长期使用中保持高精度。此外，采用高强度、耐磨损且具备抗腐蚀性能的合金材料，能够有效延长器械的使用寿命并减少材料疲劳对精度的影响。

夹持端结构的刚度与灵活性之间的平衡也是设计中的一大挑战。高刚性的设计可以提升夹持端在操作时的稳定性，减少由于外力或振动导致的偏差。过于刚性化的设计会限制手术器械的操作灵活性。通过合理的材料选择和设计工艺，在夹持端结构中加入适当的弹性元件，如微型弹簧或复合材料，使其在不牺牲稳定性的情况下，具备足够的灵活性应对不同操作要

求。结合现代增材制造技术，还能够在夹持端结构中实现更为复杂的内外部结构设计，优化其力学性能，并进一步提升夹持精度。

在高精度夹持端设计中，传动系统的精密控制也至关重要。夹持端的精确操作通常依赖于电动驱动、液压或气压系统等作为执行机构。为确保夹持动作的精度，设计时需要结合高分辨率传感器与反馈系统，实时监控夹持力和夹持位置。通过闭环控制技术，可以精确调节夹持端的动作，避免因过度夹持或不足夹持造成手术误差。设计中还应考虑控制系统的响应速度与稳定性，确保在高速操作过程中，控制系统能够精准执行命令，从而提高手术的精确度和安全性。高精度夹持端的设计方案不仅要满足传统的功能要求，还需适应微创手术发展的趋势，确保器械在小空间内能够提供更加精细、稳定的操作表现。

4 实验验证与性能评估

高精度夹持端的设计方案完成后，必须通过严格的实验验证与性能评估来确保其在实际手术中的可靠性和精确性。通过实验验证，可以有效检测设计方案的实际表现，确保器械在微创手术中的各项指标能够达到预期的效果。实验过程通常包括夹持精度、操作稳定性、耐久性及系统响应速度等多个方面的测试。

夹持精度的验证通常采用高精度传感器和测量仪器进行，测试夹持端在不同工作状态下的精度变化。实验中会通过对夹持力、夹持角度及物体位置的实时测量，评估夹持端在实际操作过程中的精确度。通过对比设计前后的夹持精度数据，能够直观地了解设计优化后的提升幅度。这一过程中的测试环境应模拟手术过程中的真实情境，以确保数据的有效性和可信度。对于微小物体的夹持，精度的提升尤为重要，因此需特别关注夹持端的精度误差范围及其在不同条件下的稳定性。

稳定性评估则侧重于器械在长时间使用中的表现。在模拟手术操作环境中，夹持端需要经历反复的夹持、松开动作以及不同力度的操作。通过持续性的操作实验，可以观察到器械是否会因长时间使用而出现精度下降或结构疲劳。为此，测试过程中通常会对夹持端的耐久性进行长时间循环测试，评估其在反复使用后是否仍能保持预期的夹持精度。

除精度和稳定性外，夹持端的响应速度也需要进行性能评估。该项测试重点考察夹持端在高频操作下的表现，确保在高速操作环境下系统能够实时响应并保持高精度。测试通常通过模拟快速的手术操作，评估系统的反应时间及稳定性，检查在快速操控过程中是否会出现误差积累或操作不准确的情况。实验验证不仅要检验各项性能是否符合设计标准，还需关注设计方案在实际使用中的适应性和实用性。通过对不同手术需求和操作环境的测试，可以全面评估高精度夹持端结构的性能表现。

5 设计方案的应用前景与技术优势

高精度夹持端结构的设计方案具有广阔的应用前景和显著的技术优势，特别是在微创手术器械中，随着医疗技术的进步，对手术精度和安全性的需求不断提高。该设计方案能够有效解决现有器械在精度、稳定性和灵活性方面的不足，提供更加精准的操作支持，极大地提升微创手术的成功率与患者的术后恢复速度。在手术精度方面，设计方案通过对夹持端结构的优化，使其能够在极小的空间内实现高精度的夹持操作。通过采用高强度材料与精密加工工艺，夹持端的误差得到了有效控制，能够准确适应各种组织结构的夹持需求。这种精度提升不仅保证了手术过程中的操作稳定性，还能够避免因夹持不当造成的组织损伤，减少手术中的并发症，为患者带来更安全的治疗体验。

在稳定性和耐久性方面，设计方案通过材料选择和结构优化，极大地提高了夹持端的稳定性和使用寿命。高强度合金和复合材料的应用，使夹持端在承受长时间高频操作后仍能保持较高的精度和稳定性。这一技术优势使得手术器械能够在复杂的手术环境中长时间使用，避免了传统器械因疲劳、磨损等原因导致的精度下降，从而减少了器械更换频率，降低了医疗成本。夹持端的灵活性也得到大幅提升。在手术过程中，微创手

术器械的夹持端需要应对不同手术场景下的多样化操作要求。通过设计可调节的结构和智能控制系统，能够在保证精度的同时，提供足够的灵活性和操作自由度。这一特点特别适用于复杂且变化多端的手术，如肿瘤切除或复杂的器官修复等。操作人员能够根据实际需要，快速调整夹持端的力度和角度，从而精确地控制手术过程。

从技术角度来看，设计方案通过将先进的传感器技术和智能反馈控制系统融入夹持端的设计中，使其具备了实时监控和调整夹持力的能力。这种智能化的设计能够在手术过程中自动校正误差，确保夹持动作的精确性和一致性，大大提高手术的成功率。精确的控制系统能够减少操作人员的操作负担，使其更加集中于手术核心部分，从而提高整体的手术效率。这一高精度夹持端设计方案不仅能够应用于现有的微创手术器械中，还为未来医疗技术的进步提供了新的设计思路。

6 结语

本研究提出的高精度夹持端设计方案，通过优化结构和采用先进材料及智能控制技术，显著提高了微创手术器械的操作精度与稳定性。实验验证显示，该设计方案在实际手术中具有良好的适应性和可靠性，推动了微创手术器械的技术进步，为未来的医疗设备创新提供了有力支持。

参考文献：

- [1] 王磊,刘强.微创手术器械夹持端精度优化设计[J].医用仪器与技术,2023,32(4):45-49.
- [2] 张燕,李晓东.高精度夹持器设计及其在微创手术中的应用研究[J].医学装备,2022,35(6):59-63.
- [3] 陈峰,赵晨.微创手术器械智能化设计与优化[J].生物医学工程学报,2022,39(2):74-80.
- [4] 李华,王磊.微创手术夹持器的力学分析与优化[J].机械工程学报,2021,57(8):102-108.
- [5] 周敏,刘静.微创手术器械的设计与改进方向[J].精密与智能制造,2023,44(5):98-102.