

光电检测仪在甲状腺癌术中的初步应用

李傲修^{1,2}, 李忠慧², 李闻天^{1,2}, 王宇男³, 宋泽辉³, 庄大勇², 贺青卿², 周鹏²

(1. 山东第一医科大学(山东省医学科学院)临床与基础医学院, 山东 济南 250117;

2. 中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院甲状腺乳腺外科, 山东 济南 250031;

3. 中国人民解放军联勤保障部队第九六一医院普通外科, 黑龙江 齐齐哈尔 161006)

摘要: **目的** 探讨甲状腺术中光电检测仪使用近红外自体荧光显像(near-infrared autofluorescence, NIRAF)和术中神经监测(intraoperative neural monitoring, IONM)技术在甲状腺癌术中的安全性和实用性,并分析其对术后并发症的影响。**方法** 选取中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院2025年1月至3月使用甲状腺术中光电检测仪(兼具NIRAF和IONM技术)进行手术的甲状腺癌患者21例。依次通过经验判断和光电检测仪识别甲状旁腺,以术后石蜡病理检查为金标准。使用检测仪监测喉返神经功能,观察术后并发症。**结果** 通过经验判断和术中光电检测仪共同识别可疑甲状旁腺101枚,术中光电检测仪检测的灵敏度、特异度、准确率分别为97.6%、91.7%、94.1%;经验判断对应指标分别为61.0%、75.0%、69.3%。以患者为单位行准确率差异性分析,差异有统计学意义($Z=-3.91, P<0.001$)。IONM术中信号稳定率为100%,术后振幅较基线波动中位下降比例为3%(-1.5%, 6.5%)。喉返神经(recurrent laryngeal nerve, RLN)术后未出现损伤,根据精确二项分布计算神经损伤的95%CI为(0%, 13.3%)。**结论** 光电检测仪作为整合NIRAF和IONM两种技术于一体的新型检测设备,应用于甲状腺术中可精准识别并有效保护甲状旁腺和神经,有效减少术后并发症。

关键词: 甲状腺癌;近红外自体荧光显像;术中神经监测;甲状旁腺;喉返神经

中图分类号:R736.1

文献标志码:A

Preliminary application of photoelectric detection devices in thyroid cancer surgery

LI Jingxiu^{1,2}, LI Zhonghui², LI Wentian^{1,2}, WANG Yu'nan³, SONG Zehui³,
ZHUANG Dayong², HE Qingqing², ZHOU Peng²

(1. Clinical and Basic Medical College, Shandong First Medical University(Shandong Academy of Medical Sciences), Jinan 250117, Shandong, China; 2. Department of Thyroid and Breast Surgery, The 960th Hospital of the PLA Joint Logistics Support Force, Jinan 250031, Shandong, China; 3. Department of General Surgery, The 961st Hospital of the PLA Joint Logistics Support Force, Qiqihaer161006, Heilongjiang, China)

Abstract: Objective To explore the safety and practicality of using near-infrared autofluorescence (NIRAF) and intraoperative neural monitoring (IONM) techniques in thyroid surgery for thyroid cancer, and to assess their impact on postoperative complications. **Methods** Twenty-one patients with thyroid cancer who underwent surgery at the 960th Hospital of the PLA Joint Logistics Support Force of China from January to March 2025 were enrolled. The intraoperative photoelectric detection device (equipped with NIRAF and IONM technologies) was used for thyroid surgery. The parathyroid glands were successively identified by empirical judgment and photodetection instrument with postoperative paraffin pathological examination as the gold standard. The function of the recurrent laryngeal nerve was monitored by the detection instrument, and postoperative complications were observed. **Results** A total of 101 suspicious parathyroid

glands were identified using a combination of experience-based judgment and intraoperative photoelectric detection. The sensitivity, specificity, and accuracy of intraoperative photoelectric detection were 97.6%, 91.7%, and 94.1%, respectively; the corresponding indicators for experience-based judgment were 61.0%, 75.0%, and 69.3%, respectively. Per patient analysis revealed a statistically significant difference in diagnostic accuracy ($Z = -3.91, P < 0.001$). The intraoperative signal stability rate of IONM was 100.0%, and the median amplitude decreased by 3% from baseline postoperatively (IQR: -1.5% to 6.5%). No postoperative recurrent laryngeal nerve injury was observed, yielding a 95% confidence interval for nerve injury of 0% to 13.3% based on the exact binomial distribution. **Conclusion** The photoelectric detector, a novel device integrating NIRAF and IONM technologies, enables accurate identification and effective protection of parathyroid glands and nerves during thyroid surgery, thereby reducing postoperative complications. **Key words:** Thyroid carcinoma; Near-infrared autofluorescence imaging; Intraoperative nerve monitoring; Parathyroid gland; Recurrent laryngeal nerve

甲状腺癌是常见的恶性肿瘤之一,发病率呈持续上升趋势,手术仍是主要治疗方式^[1]。甲状旁腺功能减退和喉返神经损伤是甲状腺癌术后常见的并发症^[2]。为了更好提升甲状旁腺识别效果,正负显影染色法、近红外自体荧光显像(near-infrared autofluorescence, NIRAF)和纳米碳等技术逐步应用于临床^[3-4]。而对于喉返神经的保护,术中神经监测(intraoperative neural monitoring, IONM)技术应用最为广泛^[5-6]。目前检测甲状旁腺和喉返神经的设备需要独立进行检测,存在设备和器械切换繁琐,耗材使用增加等问题,临床上缺乏整合两种技术的检测设备。而甲状腺术中光电检测仪可通过NIRAF和IONM两种技术实现甲状旁腺和喉返神经的术中实时监测。本文通过探讨光电检测仪在甲状腺手术中对甲状旁腺和喉返神经的保护作用,分析其对术后并发症的影响。

1 资料与方法

1.1 临床资料

1.1.1 研究对象

选取中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院2025年1月至3月使用甲状腺术中光电检测仪进行手术的甲状腺癌患者21例,其中男5例,女16例,28~58(44.29 ± 10.24)岁。纳入标准:①年龄>18岁;②术前经穿刺病理确诊为甲状腺乳头状癌;③术前甲状旁腺激素、钙和磷指标均正常,不存在声音嘶哑、饮水呛咳症状,喉镜检查未见异常;④初次手术并且无颈部外伤史和放疗史。排除标准:①合并严重的肝肾功能不全、凝血功能障碍等不能耐受手术的患者;②妊娠期或哺乳期妇女;③拒绝签署知

情同意书、文化程度较低或无法配合随访等患者。本研究为诊断性试验,采用目的抽样法选取验证样本。根据《创新医疗器械特别审查程序》对新型设备早期临床验证的要求,预设最低样本量为5例(含 ≥ 10 枚甲状旁腺阳性样本)。本研究最终纳入21例甲状腺癌手术患者,其中2例行甲状腺全切术,12例行甲状腺全切联合中央区淋巴结清扫,7例行甲状腺全切联合中央区+侧区淋巴结清扫。所有患者均术后随访至少6个月。本研究经中国人民解放军联勤保障部队第九六〇医院医学伦理委员会审核批准(2025科研伦理审第047号),患者均签署知情同意书。

1.1.2 设备

甲状腺术中光电检测仪(北京图灵微创科技有限公司型号:TurIonm100)由主机、界面盒、一次性光电集成探针、一次性神经监护气管插管及皮下针组成。其检测神经的原理基于IONM技术,内置压控恒流源,可通过探针发出强度1~3mA频率为4Hz的电刺激神经,诱发对应的肌肉产生50~1000 μ V肌电信号,传输至主机后经过系统将信号放大、滤过处理^[7]。通过显示屏显示波形和发出的提示音,判断神经的完整性。甲状旁腺检测采用的原理为NIRAF,是根据甲状旁腺在785nm波长的近红外光照射下能够发出较强荧光的特性,其荧光值约为甲状腺和周围组织的2~10倍^[8]。本设备使用波长为780nm的近红外激光照射可疑甲状旁腺时,通过其与基准值的荧光比值和发出的提示音进行判断。本设备配备直径约2mm弯折角度为15°的双功能探头,可实现电刺激神经和发出近红外激光功能,通过移动终端实现神经和甲状旁腺的术中实时检测。见图1。



图1 甲状腺术中光电检测仪组成部分

A:主机和显示屏; B:探针。

Figure 1 Components of the intraoperative photoelectric detector for thyroid surgery

A: Host and display screen; B: Probe.

1.2 方法

1.2.1 检测前准备

完成所有的术前准备后,将设备进行连接并进入检测准备界面,待线路通道显示正常并且两侧声带幅值 $<30\ \mu\text{V}$ 后连接探针。显示器界面左侧为探

头电刺激强度设置区($1\sim 3\ \text{mA}$)和电信号阈值设置区域,中间部分为左右侧神经实时波形显示区域,右侧为采集的5个基准值和所测组织实时荧光强度的区域。见图2。



图2 显示器术前准备界面

A: 配件连接示意图和术前电极检查; B: 电刺激参数设置区(红色箭头)、左右侧神经电生理波形显示区(黄色箭头)、基准值采集区(蓝色箭头)、甲状旁腺荧光检测区(绿色箭头)、阈值设置区(白色箭头)。

Figure 2 Preoperative preparation interface of the display

A: Diagram of accessory connection and preoperative electrode examination; B: Electrical stimulation parameter setting area (indicated by the red arrow), left and right side nerve electrophysiological waveform display area (indicated by the yellow arrow), reference value acquisition area (indicated by the blue arrow), parathyroid fluorescence detection area (indicated by the green arrow), threshold setting area (indicated by the white arrow).

1.2.2 神经和甲状旁腺的术中检测

依次切开颈前组织,充分暴露甲状腺体后显露出后方结构,通过十字交叉法定位喉返神经,使用探针发出 $1\sim 3\ \text{mA}$ 持续的电流刺激,通过显示屏所呈现的肌电波形以及提示音实时判断神经的完整性,采用此方法检测迷走神经和喉上神经。测量甲状旁腺时,需要在术野内5个不同的位置采集荧光值,并取平均值作为基准值(异常需重新测量)。待基准

值建立后,通过近红外激光对甲状旁腺或疑似甲状旁腺的组织进行检测,系统将实时显示荧光比值并发出提示音。将检测组织的中段 $1\ \text{mm}$ 样本送检,并以术中冰冻病理结果作为术中是否保留或移植甲状旁腺的决策依据^[9]。对于病理结果判定为甲状旁腺组织,血供良好的甲状旁腺予以原位保留,不适合原位保留的甲状旁腺,则行胸锁乳突肌异位移植^[10],见图3。

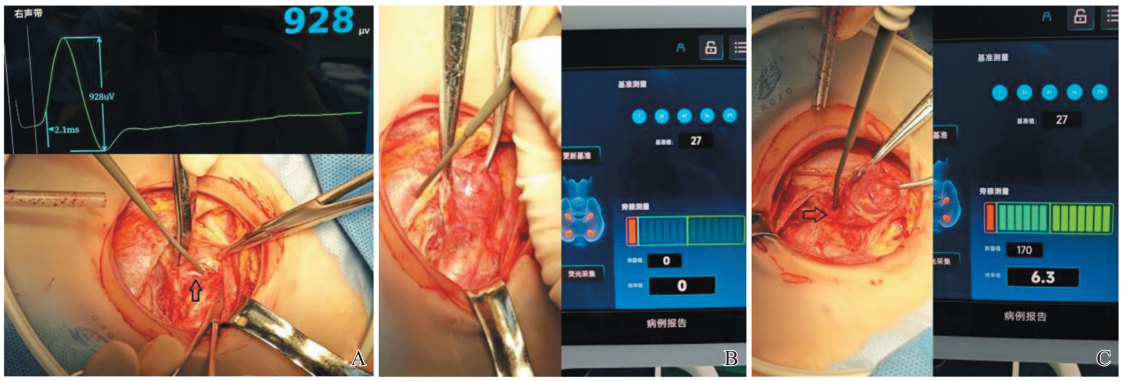


图3 术中使用检测仪监测所对应的屏幕图片

A: 喉返神经的术中检测; B: 甲状旁腺基准值的建立; C: 甲状旁腺术中检测。

Figure 3 Screen images corresponding to the monitoring during the operation using the detector

A: Intraoperative detection of the recurrent laryngeal nerve; B: Establishment of the baseline value of the parathyroid glands; C: Intraoperative detection of the parathyroid glands.

1.2.3 甲状腺切除后处理

切除甲状腺和淋巴等组织后,使用探针仔细检测离体组织中有无甲状旁腺,持续阴性信号提示不存在甲状旁腺,若为持续阳性信号,则应继续将中段组织送至术中冰冻病理,若证实为甲状旁腺进行异位移植。手术结束前再次检测神经功能是否完好,检查完毕后手术正常操作至结束。离体组织保存固定后进行石蜡病理结果检验,并以此作为检验设备效能的金标准。

1.2.4 术后甲状旁腺功能减退和喉返神经损伤的诊断

根据指南将甲状旁腺功能减退诊断设定为:术后血钙 <2.0 mmol/L、甲状旁腺激素 <15 ng/L、出现手足抽搐和麻木症状^[11]。将喉返神经损伤设定为:术中神经检测波形振幅下降 $>50\%$,出现呼吸困难、声音嘶哑、饮水呛咳症状^[12]。根据持续时间分为永久性(>6 个月)和暂时性(<6 个月)。

1.2.5 观察指标

观察21例患者术前1d、术后1d及术后1~6个月甲状旁腺激素、钙、磷水平以及甲状旁腺功能减退相关临床症状。统计术前和术后声音是否嘶哑、饮水呛咳、呼吸困难以及术中神经检测波形振幅是否下降 $>50\%$,且手术结束时仍未恢复等喉返神经损伤症状^[12]。

1.3 统计学处理

采用SPSS 26.0统计学软件。计数资料采用 $n(\%)$ 表示。连续变量经Shapiro-Wilk检验确认正态性,正态分布数据以 $\bar{x}\pm s$ 表示,采用配对 t 检验分析手术前后差异;非正态数据以 $M(P_{25}, P_{75})$ 表示,采用Wilcoxon符号秩检验。分类变量(甲状旁腺判定)通过四格表法计算诊断效能:灵敏度=真阳性/

(真阳性+假阴性) $\times 100\%$;特异度=真阴性/(真阴性+假阳性) $\times 100\%$;准确率=(真阳性+真阴性)/总检测数 $\times 100\%$ 。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 术前基本资料

入组患者基本信息如年龄、性别、体质量指数(body mass index, BMI),临床信息如肿瘤位置、肿瘤最大直径、甲状腺影像报告与数据系统分级(thyroid Imaging Reporting and Data System, TI-RADS),见表1。

表1 甲状腺癌患者术前基本资料
Table 1 Basic preoperative data of patients with thyroid cancer

项目	总人数($n=21$)
性别	
男	5(23.81)
女	16(76.19)
年龄/岁	44.29 \pm 10.24
BMI/(kg/m ²)	23.36 \pm 3.71
肿瘤位置	
左侧	10(47.62)
右侧	9(42.86)
峡部	2(9.52)
BRAF基因	
突变	13(61.90)
未突变	8(38.10)
肿瘤最大直径/cm	1.08(0.81, 1.34)
TI-RADS分级	
4a	7(33.33)
4b	10(47.62)
4c	2(9.52)
5	2(9.52)

2.2 术中和术后检测结果

经两名经验丰富的手术医师在双盲的情况下独立判断可疑甲状旁腺,意见不一致时协商得出结论

后,使用术中检测仪检测可疑甲状旁腺 101 枚。术中光电检测仪检测甲状旁腺 45 枚(真阳性 40 枚,假阳性 5 枚),经验判断甲状旁腺 40 枚(真阳性 25 枚,假阳性 15 枚)。101 枚可疑甲状旁腺术后石蜡病理诊断为 41 枚甲状旁腺和 60 枚其他组织。对于血供良好的甲状旁腺行原位保留,血供遭到破坏的甲状旁腺 6 枚种植于胸锁乳突肌,其中 2 枚为切除甲状腺后使用探针检测时发现(经术中病理确认后移植)。

神经监测数据显示,IONM 信号稳定率为 100% (21/21),术后振幅较基线波动中位下降比例为 3% (-1.5% ,6.5%),均能够在未完全显露或无法识别神经时判断其走向和完整性,术后 21 例患者均未出现神经损伤,根据精确二项分布计算神经损伤的 95%CI:0%~13.3%。

2.3 光电检测设备和肉眼经验判断结果比较

诊断效能:针对 101 枚可疑甲状旁腺组织,设备检测灵敏度为 97.6% (40/41),特异度为 91.7% (55/60),准确率为 94.1% (95/101);术者经验判断的灵敏度为 61.0% (25/41),特异度为 75.0% (45/60),准确率为 69.3% (70/101)。其中光电检测设备共纠正经验判断误判 25 枚。光电检测设备和经验判断的准确率按患者汇总后使用 Wilcoxon 符号秩检验进行比较,差异有统计学意义 ($Z=-3.91, P<0.001$)。术中冰冻和术后石蜡病理最终结果一致性分析显示具有高度一致性 ($Kappa=0.92, P<0.001$)。

2.4 临床参与与安全性

术后 1 d 血钙水平 [2.24 (2.08, 2.38) mmol/L] 较术前 [2.33 (2.20, 2.45) mmol/L] 差异有统计学意义 ($Z=-2.417, P<0.05$)。尽管术后 1 d 血钙水平较术前有统计学意义的下降,但大部分患者血钙水平都在正常范围内,仅有 2 例 (9.5%) 出现短暂低钙血症 (血钙 <2.0 mmol/L)。术后 1d 共有 3 例 (14.3%) 患者甲状旁腺激素低于正常值 (<15 ng/L),其他患者甲状旁腺激素、钙磷水平均在正常范围。2 例 (9.5%) 患者术后 1 d 出现静息及吞咽时疼痛 (视觉模拟评分 3~4 分),所有患者均未出现喉返神经损伤症状。术后 1~6 个月随访期间,所有患者生化指标均处于正常水平且未出现相关并发症。

3 讨论

甲状腺癌是头颈部最常见的恶性肿瘤。根据 2022 年全球癌症数据统计显示^[1]:甲状腺癌的发病率位居全球第 7 位,全球新发病例 82 万余例,其中

中国新发病例占一半以上。相关文献显示,暂时性和永久性甲状旁腺功能减退的发生率分别为 14.0%~51.9% 和 1.2%~5.5%,由手术损伤、血供遭到破坏、以及甲状旁腺自体移植或甲状旁腺切除所导致^[13]。而暂时性和永久性喉返神经损伤的发生率大致在 5.0%~11.0% 和 0.9%~3.0%^[14]。

IONM 作为实时检测神经的辅助手段,可通过术中实时检测降低喉返神经损伤的概率^[15]。Aygün 等^[16]相关研究显示,造成喉返神经损伤 67%~93% 是由牵拉导致,证实 IONM 可以有效识别喉返神经及增强解剖变异的识别率。有研究显示,IONM 可以缩短喉返神经的识别时间,提高手术医生的手术经验^[17]。为了识别甲状旁腺,涌现出多种影像与检测技术,外源性荧光显像目前应用较多的是吲哚菁绿,可实时观察甲状旁腺的血供^[18-19]。光学相干断层成像是一种无侵入、高分辨的断层成像技术,可以作为甲状腺良恶性结节鉴别的补充工具^[20-21]。上述技术仍存在一定局限性,如侵入性操作、步骤繁琐、不能实时监测等问题。

本设备通过双技术融合有效解决了现有技术的不足,NIRAF 作为一种无侵入且快速的检测方法,其监测设备种类多样,大量的荟萃分析证实该技术具有优异的灵敏度和特异度^[22]。IONM 技术如今作为标准的辅助手段,不仅可以实现神经功能的实时检测,更能有效评估神经功能的完整性^[5]。探针式 NIRAF 和 IONM 技术均具备实时、无创、便捷等优点^[23-24],本设备将 NIRAF 和 IONM 技术的协同优势相结合,无需术中更换器械,既减少了术前准备时间,提升术者操作体验,同时也帮助患者有效减少并发症从而提高生活质量。在完整保留原有检测性能的同时,进一步实现了甲状旁腺和喉返神经的精准识别。

本研究纳入 21 例患者验证设备检验效能,结果显示甲状旁腺识别的准确率为 94.1%,优于经验判断。根据大量的荟萃分析表明,使用 IONM 可将喉返神经损伤降低至 5% 以下,本研究喉返神经损伤率符合正常的参考范围,表明该设备在保证降低喉返神经损伤率的同时还能兼顾检测甲状旁腺等其他功能^[25]。本研究存在 1 例假阴性(设备阴性/病理阳性)结果,可能是由于术中光照过强干扰检测结果,或甲状旁腺外部覆盖较厚脂肪组织所致,以及操作人员使用不当或术中视野出血太多干扰检测导致。5 例假阳性结果(设备阳性/病理阴性)可能是因为基准值建立异常或检测组织紧邻甲状旁腺所致^[26-28]。故应在检测甲状旁腺时止血充分或冲洗

干净,尽量避免强光直射检测部位,反复多次测量,尽可能减少误差。光电检测仪检测纠正了10例经验误判(经验判阳/光电检测仪判阴)和15例经验漏判(经验判阴/光电检测仪判阳),表明光电检测仪能够在复杂术野中对甲状旁腺精准识别,具有很好的辅助价值。所有患者喉返神经均没有损伤,其中2例出现静息及吞咽时疼痛,可能与术中神经检测气管插管或电刺激声带导致声带肌水肿、炎症有关,出院时均恢复正常^[29]。

传统手术中,甲状旁腺识别(如纳米碳染色)与喉返神经监测(如独立神经监护仪)需切换设备,不仅增加了操作复杂度和感染风险,还存在多设备校准误差。本研究设备通过直径2 mm集成探头同步实现荧光检测与电刺激神经监测,这种“一机双功能”设计不仅减少了手术台上设备数量,还可以改善患者生活质量,同时通过减少耗材使用降低医疗成本。与单一IONM技术相比,本研究设备在甲状旁腺保护方面展现出更强的协同效应。

本研究尚存在一定的局限性:①纳入的样本量较少,虽然满足样本量最低要求,但可能导致结果统计功效不足,增加Ⅱ类错误,未来需扩大样本量进行检验;②未使用该设备应用于腔镜手术,缺乏其在腔镜手术的性能表现;③随访时间较短,缺乏长期的随访验证;④未纳入二次手术的患者,设备在复杂术野中的稳定性需进一步验证;⑤设备对微小移位甲状旁腺(如嵌入脂肪组织)的识别效能待验证,以及使用NIRAF在严重出血术野中的荧光干扰问题。未来可探讨NIRAF荧光强度与甲状旁腺术后功能保留的相关性,以及IONM在术中波形下降幅度与喉返神经的预后情况,为精准化甲状旁腺和喉返神经保护提供量化标准。

综上所述,本研究设备通过NIRAF与IONM技术的硬件集成,验证了双功能实时监测的临床可行性,并且契合未来外科手术发展的方向,简化了术中监测流程,保证了较高的准确性。本研究证实该设备诊断效能优于经验判断,可以有效减少甲状旁腺和神经的术中损伤以及术后并发症,后续仍需开展多中心RCT研究和其他类型的手术方式(如腔镜)以及复杂病例(如二次手术患者)验证设备的普适性。

参考文献:

- [1] Bray F, Laversanne M, Sung H, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. *CA A Cancer J Clin*, 2024, 74(3): 229-263.
- [2] Gerardi I, Verro B, Amodei R, et al. Thyroidectomy and its complications: a comprehensive analysis[J]. *Biomedicine*, 2025, 13(2): 443. doi: 10.3390/biomedicine13020433
- [3] 陶为杰, 郝洁, 高影, 等. 甲状腺癌根治术中甲状旁腺辨识和保护技术的研究进展[J]. *中华普通外科杂志*, 2024, 39(12): 964-967.
TAO Weijie, HAO Jie, GAO Ying, et al. Research progress of parathyroid identification and protection technology in radical thyroidectomy[J]. *Chinese Journal of General Surgery*, 2024, 39(12): 964-967.
- [4] 盛浩, 白俊文, 王霞, 等. 甲状旁腺显影技术在甲状腺手术中的应用研究进展[J]. *癌症进展*, 2024, 22(10): 1057-1061.
SHENG Hao, BAI Junwen, WANG Xia, et al. Progress in application of parathyroid imaging technique in thyroid surgery[J]. *Oncology Progress*, 2024, 22(10): 1057-1061.
- [5] Hsieh CY, Tan H, Huang HF, et al. Optimization of intraoperative neural monitoring of the recurrent laryngeal nerve in thyroid surgery[J]. *Medicina*, 2022, 58(4): 495. doi: 10.3390/medicina58040495
- [6] Won D, Lee JM, Lee J, et al. Usefulness of video laryngoscopy in tracheal intubation at thyroid surgical position for intraoperative neuromonitoring[J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 4980. doi: 10.1038/s41598-024-55537-0
- [7] 陈亮, 徐荣青, 李健聪, 等. 术中神经监测系统设计与实现[J]. *电子测量技术*, 2022, 45(18): 18-24.
CHEN Liang, XU Rongqing, LI Jiancong, et al. Design and implementation of intraoperative nerve monitoring system[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2022, 45(18): 18-24.
- [8] Paras C, Keller M, White L, et al. Near-infrared autofluorescence for the detection of parathyroid glands[J]. *J Biomed Opt*, 2011, 16(6): 067012. doi: 10.1117/1.3583571
- [9] 花苏榕, 高俊义, 曹楨, 等. 探针式近红外自体荧光技术在术中甲状旁腺识别中的应用研究[J]. *中华内分泌外科杂志(中英文)*, 2024, 18(5): 675-678.
HUA Surong, GAO Junyi, CAO Zhen, et al. Application of near-infrared autofluorescence probe in intraoperative parathyroid gland identification[J]. *Chinese Journal of Endocrine Surgery*, 2024, 18(5): 675-678.
- [10] 赵婉君, 苏安平. 甲状旁腺自体移植技术的应用及进展[J]. *临床外科杂志*, 2025, 33(3): 248-250.
ZHAO Wanjun, SU Anping. Application and progress of

- parathyroid autotransplantation technology[J]. *Journal of Clinical Surgery*, 2025, 33(3): 248-250.
- [11] 中华医学会骨质疏松和骨矿盐疾病分会, 中华医学会内分泌分会代谢性骨病学组. 甲状旁腺功能减退症临床诊疗指南[J]. *中华骨质疏松和骨矿盐疾病杂志*, 2018, 11(4): 323-337.
- Chinese Society of Osteoporosis and Bone Mineral Research, Chinese Medical Association, The Metabolic Bone Disease Group of the Chinese Medical Association Endocrinology Branch. Guidelines for clinical treatment of hypoparathyroidism[J]. *Chinese Journal of Osteoporosis and Bone Mineral Research*, 2018, 11(4): 323-337.
- [12] 中国医师协会外科医师分会甲状腺外科医师委员会, 中国研究型医院学会甲状腺疾病专业委员会, 孙辉, 等. 中国甲状腺及甲状旁腺手术中神经监测指南(2023版)[J]. *中国实用外科杂志*, 2023, 43(1): 23-33.
- Thyroid Surgeon Committee of Surgeon Branch of Chinese Medical Doctor Association, Metabolic Bone Disease Group, Chinese Society of Endocrinology, Chinese Medical Association, Sun Hui, et al. Chinese guidelines of intraoperative neural monitoring during thyroid and parathyroid surgery (2023 edition)[J]. *Chinese Journal of Practical Surgery*, 2023, 43(1): 23-33.
- [13] Sitges-Serra A. Etiology and diagnosis of permanent hypoparathyroidism after total thyroidectomy[J]. *J Clin Med*, 2021, 10(3): 543. doi: 10.3390/jcm10030543
- [14] Obata K, Kurose M, Kakiuchi A, et al. Factors of post-operative recurrent laryngeal nerve paralysis and recovery of vocal cord movement in thyroid surgery[J]. *Auris Nasus Larynx*, 2024, 51(5): 892-897.
- [15] Hearn M, You B, Mady LJ, et al. Progress and outcomes of intraoperative nerve monitoring during thyroidectomy[J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2025, 151(3): 236. doi: 10.1001/jamaoto.2024.4452
- [16] Aygun N, Kostek M, Isgor A, et al. Anatomical, functional, and dynamic evidences obtained by intraoperative neuromonitoring improving the standards of thyroidectomy[J]. *Sisli Etfal Hastan Tip Bul*, 2021, 55(2): 146-155.
- [17] Maneerasopchoke P, Chongkolwatana C, Pongsapich W, et al. Intraoperative nerve monitoring in thyroid surgery: analysis of recurrent laryngeal nerve identification and operative time[J]. *Laryngoscope Investig Otolaryngol*, 2021, 6(2): 354-361.
- [18] Kahramangil B, Berber E. The use of near-infrared fluorescence imaging in endocrine surgical procedures[J]. *J Surg Oncol*, 2017, 115(7): 848-855.
- [19] 庄大勇, 贺青卿, 周鹏, 等. 一种新的术中甲状旁腺识别方法: 甲状旁腺自体荧光显像(附6例报告)[J]. *山东大学学报(医学版)*, 2020, 58(11): 98-102.
- ZHUANG Dayong, HE Qingqing, ZHOU Peng, et al. A new method of parathyroid identification during operation: parathyroid autofluorescence imaging (report of 6 cases)[J]. *Journal of Shandong University (Health Sciences)*, 2020, 58(11): 98-102.
- [20] Abbaci M, De Leeuw F, Breuskin I, et al. Parathyroid gland management using optical technologies during thyroidectomy or parathyroidectomy: a systematic review[J]. *Oral Oncol*, 2018, 87: 186-196. doi: 10.1016/j.oraloncology.2018.11.011
- [21] Shao CY, Li ZF, Zhang CC, et al. Optical diagnostic imaging and therapy for thyroid cancer[J]. *Mater Today Bio*, 2022, 17: 100441. doi: 10.1016/j.mtbio.2022.100441
- [22] Wang B, Zhu CR, Liu H, et al. The accuracy of near infrared autofluorescence in identifying parathyroid gland during thyroid and parathyroid surgery: a meta-analysis[J]. *Front Endocrinol*, 2021, 12: 701253. doi: 10.3389/fendo.2021.701253
- [23] Silver Karcioglu AL, Triponez F, Solórzano CC, et al. Emerging imaging technologies for parathyroid gland identification and vascular assessment in thyroid surgery: a review from the American head and neck society endocrine surgery section[J]. *JAMA Otolaryngol Head Neck Surg*, 2023, 149(3): 253. doi: 10.1001/jamaoto.2022.4421
- [24] Wojtczak B, Sutkowska-Stepień K, Głód M, et al. Current knowledge on the use of neuromonitoring in thyroid surgery[J]. *Biomedicines*, 2024, 12(3): 675. doi: 10.3390/biomedicines12030675
- [25] Wojtczak B, Marciniak D, Kaliszewski K, et al. Proving the superiority of intraoperative recurrent laryngeal nerve monitoring over visualization alone during thyroidectomy[J]. *Biomedicines*, 2023, 11(3): 880. doi: 10.3390/biomedicines11030880
- [26] 徐陌, 倪敬书, 董美丽, 等. 近红外自体荧光技术在甲状旁腺检测中应用及其自体荧光物质的研究进展[J]. *中国普外基础与临床杂志*, 2025, 32(4): 514-520.
- XU Mo, NI Jingshu, DONG Meili, et al. Research progress of clinical application of near-infrared autofluorescence detection technology in parathyroid glands and studies of autofluorescent substances[J]. *Chinese Journal of Bases and Clinics in General Surgery*, 2025, 32(4): 514-520.