

荧光引导技术在儿童肿瘤手术中的应用及展望



全文二维码



开放科学码

姚 伟 董岩然

【摘要】 吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)荧光引导技术作为一种新兴的术中导航工具,以其操作简便、使用安全、实时显像的特点,在外科手术中得到了广泛应用。目前 ICG 荧光引导技术在儿童肿瘤外科中的应用尚处于起步探索阶段。无论是在肝肿瘤病灶的识别、解剖性肝切除的实施、肿瘤切缘边界的界定,还是在肺转移灶的定位、前哨淋巴结的探寻上,都展现出了较好的应用前景。本文将系统阐述 ICG 荧光引导技术在儿童实体肿瘤手术中的应用及进展。

【关键词】 荧光染料; 吲哚菁绿; 诊断显像; 精准医学; 外科手术; 肿瘤外科

【中图分类号】 R917.76 R726.1 R445.9

Applications and future prospects of fluorescence guided surgery for pediatric oncology. Yao Wei, Dong Kuiran. Department of Pediatric Surgery, Children's Hospital of Fudan University, Shanghai 201102, China.

【Abstract】 As an emerging intraoperative navigation tool, indocyanine green (ICG) fluorescence guided surgery has been developed and refined due to its simple handling, safe usage and real-time imaging. Currently the application of ICG for pediatric oncology has remained at an exploratory stage. However, for such diverse tasks as the identification of liver tumor lesions, the implementation of anatomical liver resection, the definition of tumor resection margins or the location of lung metastases and sentinel lymph nodes, the technology has demonstrated great application prospects. This review systematically described the application values and recent advances of ICG fluorescence guided surgery for pediatric oncology.

【Key words】 Fluorescent Dyes; Indocyanine Green; Diagnostic Imaging; Precision Medicine; Surgical Procedures, Operative; Surgical Oncology

随着影像技术的进步和微创手术的发展,手术前影像学检查的精准度越来越高,手术创伤越来越小。但是,如何将术前影像与术中所见相结合,如何在缺乏触觉的微创手术中准确识别病灶位置,仍然是外科医生手术时面临的巨大挑战。荧光引导技术作为一种新兴医学影像方法,可以在手术过程中通过荧光标记来识别重要的脏器结构或者病变组织,通过图像的实时增强显像,辅助外科医师在手术过程中精确定位,为实施精准手术提供帮助^[1]。

一、荧光显像技术的原理、使用方式及模式选择

吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)是一种亲水性的近红外荧光染料,在 750 ~ 810 nm 波长的外来光波激发下,可产生波长为 840 nm 左右的近红外

光,从而具有荧光特性^[2,3];但其荧光组织穿透力较弱,最大穿透距离仅 10 mm^[4]。ICG 静脉注射后与血清蛋白相结合,可快速显像血管;肠道等动脉供血丰富的脏器可在 60 s 内荧光显影^[5];ICG 主要被肝细胞特异性摄取和代谢,通过胆道排泄,且排泄后不参与肝肠循环,半衰期为 3 ~ 4 min,代谢过程可持续 24 ~ 48 h^[6,7]。目前临床上已开展的 ICG 给药途径和显影模式如下^[8]:

1. 静脉注射: ①注射后短时间内即可观察到相应器官灌注情况,可用于血管造影和了解肠道及皮瓣血供情况;②可通过其代谢特性,识别肝脏肿瘤病灶,并进行胆道造影;③对于非肝脏肿瘤,可利用 ICG 的增强渗透和保留效应(enhanced permeability and retention, EPR),即 ICG 可以从脉管系统内渗出而积聚在病灶组织内;而正常组织内的 ICG 可通过循环系统和淋巴系统清除,从而识别病灶。使用 EPR 显像模式时,ICG 的用量往往需要达到普通用量的 8 ~ 10 倍。

DOI:10.12260/lcxezkzz.2021.10.002

基金项目:1. 唐仲英基金会,上海市申康联合攻关项目(编号:SHDC12018X22); 2. 上海市科委西医引导项目(编号:19411966800)

作者单位:复旦大学附属儿科医院外科(上海市,201102)

通信作者:董岩然, Email:kuirand@hotmail.com

2. 间质/淋巴注射: ①ICG 皮下、皮内或组织间隙注射后与蛋白质结合, 通过淋巴系统排泄, 因而可用于前哨淋巴结的检测; ②ICG 也可直接注射于较大淋巴结, 用于显影淋巴管主干; ③ICG 可以在影像引导下直接注射到病灶中, 于术中识别病灶, 主要用于肺部病灶的识别。

灭菌注射用水是 ICG 的首选溶剂, 由于水溶液的稳定性有限, 稀释后的 ICG 必须在 6~10 h 内使用。ICG 的致死剂量高达 80 mg/kg, 而实际使用剂量 <2 mg/kg, 因而临床使用安全性较高, 药物过敏等不良反应的发生率低于 0.01%^[9,10]。

二、ICG 在肝脏肿瘤中的应用

自 Ishizawa 等^[11]首次报道 ICG 荧光显像技术引导肝脏肿瘤切除术以来, 该技术在肝脏肿瘤手术导航中的应用日益广泛, 目前国内也制定了相应的专家共识^[12]。尽管 ICG 荧光显像在儿童肝脏肿瘤手术中的应用尚处于起步阶段, 但越来越多的研究发现其应用于儿童肝脏肿瘤的精准手术切除具有显著优势^[13-15]。

1. 肝功能的评估: 术前准确评估肝脏储备功能, 将为肝切除术式的选择和安全切除范围的确定提供重要参考。ICG 清除实验是目前应用最广泛的肝脏储备功能评估方法之一。它利用肝细胞摄取 ICG 后能够快速经过胆道排泄这一原理, 通过监测这一动态代谢过程量化评估肝储备功能, 其中 15 min 血液 ICG 滞留率 (ICG 15 minutes retention rate, ICG-R15) 是最常使用的评估指标^[16,17]。一般认为, 在成人肝脏手术中, ICG-R15 <14% 可作为安全进行肝切除术的界限, 术后肝功能不全的发生率低^[18]。当 ICG-R15 >40% 时, 肝脏代偿功能差, 是肝脏切除手术的禁忌证^[19]。目前关于儿童 ICG-R15 还缺乏相关研究, 可参照成人指标作为手术决策的依据。

2. 肝脏肿瘤的识别和定位: 肝细胞 (包括肿瘤细胞) 摄取 ICG 后, 肿瘤组织内肝细胞的胆道排泄功能受损, ICG 滞留在病变组织中, 与正常代谢的背景肝脏形成对比显影的效果, 从而达到识别肝脏病灶的目的。儿童肝脏肿瘤很少存在肝硬化结节等影响显影效果的因素, 合适的注射时机和剂量对于尽可能优化病变与正常肝组织的荧光对比度至关重要。儿童肝脏肿瘤手术时 ICG 的注射时机和剂量目前尚没有形成共识, 推荐方案为 0.5 mg/kg 并于术前 72~96 h 静脉注射^[8,13]。若难以在上述时间使用时, 建议以 0.25~0.3 mg/kg 的剂量, 尽量在

术前 48 h、最迟不晚于 24 h 内静脉注射, 以免产生明显的背景干扰^[12]。

肝脏肿瘤切除手术中, ICG 可以识别、定位肿瘤病灶, 特别是微小播散灶。在成人肝癌手术中, 该技术能探测到最小直径仅 2 mm 的原发性肝癌病灶^[20]; 对于表浅的肝脏肿瘤病灶的检测敏感性可达 91%~100%, 甚至还能发现 11.6% 的术前影像没有发现的额外病灶^[21]。但存在明显肝硬化或肝结节样增生时, 检测准确率仅 65%, 假阳性率高达 40%~50%^[22]。儿童肝母细胞瘤 ICG 引导手术的开展数量有限, 文献报道能够识别出的最小病灶约 8 mm 左右, 肿瘤检出的阳性预测值为 91.6%, 与肝癌检测结果类似^[23]。当肝母细胞瘤紧贴重要血管而无法保证足够切缘时, ICG 还可以确定肿瘤的边界和切除范围, 以尽可能保证肿瘤的 R0 切除, 并能显著减少术中出血和避免血管及胆管损伤^[24]。

由于肝脏肿瘤细胞分化程度不同, 对 ICG 的摄取及排泄存在差异, 因而术中根据肝脏肿瘤荧光显像特点的不同, 可以初步判断原发性肝癌的分化程度^[12]。但是, 儿童肝母细胞瘤的荧光显像特点与病理类型的关系尚不明确, 一方面与开展的病例数量有限有关, 另一方面行 ICG 引导下肝切除的病例大部分进行了术前化疗, 肿瘤存在不同程度的坏死和纤维化, 因而术中荧光显像可表现为不均匀显像, 而无特定规律^[23]。本研究团队也曾进行过类似研究, 在 8 例肝母细胞瘤病例中发现 ICG 荧光显像特点与病理类型无明显相关性, 而部分使用荧光显像的病例均有术前化疗史, 考虑无荧光区与肿瘤组织坏死有关^[15]。

3. 解剖性肝切除: 目前手术完整切除肿瘤仍然是治疗肝母细胞瘤最主要的手段。解剖性肝切除不仅能够完整切除肿瘤, 而且可以通过阻断 Glisson 鞘而减少术中出血量, 降低术后胆瘘的发生率。ICG 在静脉注射数分钟后即可获得相应肝段的确切荧光标记, 且持续时间长, 可引导肝脏离断操作中的解剖性肝切除^[25]。与传统以肝静脉投影标志进行解剖性肝切除相比, 该方法在处理肝实质内断面时能够更精确地进行解剖分离和切除相应肝段, 目前不仅可以在开放性手术中使用, 在腹腔镜下肝切除术的应用也越来越多^[26]。ICG 荧光引导技术显示肝段主要有两种方法^[12]: ①正显像法: 术前需建立三维可视化模型对预切除肝段门静脉进行识别, 术中在超声引导下穿刺目标门静脉分支, 注入 ICG 进行荧光检测, 则显示的是预切除的肝段。正显像

法荧光信号较强,技术要求高,难度大;②负显像法:分离并结扎预切除肝段的 Glisson 鞘,经外周静脉注射 ICG 后进行荧光检测,显示的是预保留的肝段。负显像法术中操作简单,适用于门静脉分支易于显露的肝段,但其荧光信号相对较弱,且一旦染色失败则不能重复进行。国内湖南省儿童医院率先报道了 1 例 ICG 荧光染色引导下解剖性右半肝切除手术治疗肝母细胞瘤,取得了较好效果,认为该技术值得推广^[27]。

4. 肝断面胆漏的识别:肝切除术后胆漏是肝脏肿瘤手术后常见的并发症,发生率为 4.0%~9.8%^[28]。术中准确发现胆漏并及时修补是降低其发生率的关键。由于 ICG 可与胆汁中的蛋白结合,术中临时阻断胆总管,通过胆囊管注射 5~10 mL 浓度为 0.025 mg/mL 的 ICG,可识别胆漏^[26]。有研究对比了常规胆囊内注射生理盐水与 ICG 显像对肝切除术后胆漏的识别效果,在 27 例使用 ICG 技术进行显像的病例中,8 例术中发现胆漏,术后无一例胆漏发生,而 32 例胆囊注射生理盐水的病例中,6 例术中发现胆漏,2 例术后出现胆漏,因而认为 ICG 技术进行肝脏切除术后胆漏的检测,可明显降低胆漏的发生率^[29]。

三、ICG 在肺转移灶中的应用

肺是儿童实体肿瘤常见的转移部位,随着 CT 分辨率的提高,肺结节的检出率越来越高,大小也越来越小,这对术中准确识别和定位肺结节提出了挑战。目前胸腔镜肺结节手术已广泛开展,但由于腔镜手术无法术中触摸肺部,给深部微小结节的识别带来了难度。ICG 荧光技术为术中准确识别肺转移结节提供了一种选择。

1. 肝脏肿瘤转移灶的识别:肝母细胞瘤的肺转移结节具有肝细胞摄取 ICG 的功能,但缺乏排泄的途径,因而肺结节与正常肺组织之间有较好的显像对比,有利于发现微小肺结节。一般在术前 24 h 静脉注射 0.5 mg/kg 的 ICG,即能获得较好的荧光对比显影效果^[8]。Kitagawa 等^[30]对 10 例肝母细胞瘤患者进行了 37 次手术,识别出了 250 个荧光显像阳性的肺结节,最小的结节直径仅 0.062 mm,阳性预测值达 88.4%。最近,Souzaki 等^[14]也报道使用该方法后,所有病例的肺转移灶均于术中清晰显影,发现的最小结节直径约 1.2 mm,阳性预测值达到了 91.6%。尽管 ICG 对肝母细胞瘤的肺转移结节具有较好的识别效果,但由于 ICG 穿透能力有限,一般仅能发现深度 10 mm 以内的病变,因而对于深部肺结节

还需要结合其它技术来识别和定位,以免遗漏。

2. 非肝脏肿瘤转移灶的识别:非肝脏肿瘤的肺转移灶在较高 ICG 使用剂量下,利用 EPR 效应可达到病灶荧光显像的目的。关于 ICG 使用多大剂量才能达到较好的显示效果也有不同研究结论,Newton 等^[31]研究发现,ICG 剂量提高至 3~4 mg/kg 时,间皮瘤、胸腺瘤等肺转移灶能够清晰显像。Predina 等^[32]在对 30 例软组织肉瘤患者注射了 5 mg/kg 的 ICG 后,发现 89% 的软组织肉瘤肺转移灶能够显影。目前推荐 ICG 于术前 24 h 静脉注射的剂量为 4 mg/kg;为了减少注射剂量,ICG 浓度也相应提高到 5 mg/mL^[8]。由于该技术利用的是 EPR 效应,对于微小病灶或存在广泛坏死的肿瘤结节,容易出现假阴性结果,这可能与患者已接受过肿瘤相关治疗有关。

四、在其它肿瘤的应用

1. 前哨淋巴结的识别:对于黑色素瘤、横纹肌肉瘤及其它肉瘤,评估前哨淋巴结的情况对于肿瘤分期及治疗方案的选择至关重要。乳腺癌是较早使用 ICG 进行前哨淋巴结检测的肿瘤,目前研究发现其 ICG 淋巴结荧光识别效果与同位素显像相似,并且具有术中直观显示淋巴结的优势^[33]。在儿童睾丸旁横纹肌肉瘤前哨淋巴结识别的研究中,通过精索注射 2 mL 浓度为 1.25 mg/mL 的 ICG,能够帮助识别有无区域淋巴结转移^[34]。目前关于儿童肿瘤前哨淋巴结 ICG 荧光显像的敏感性和特异性的数据资料有限,还需要更大样本的研究来证实。

2. 腹腔肿瘤手术中的应用:关于 ICG 在其它儿童腹腔肿瘤手术中的运用,目前还处于探索阶段,部分前瞻性研究也已开展(如儿童肿瘤切缘识别的临床研究:NCT04084067)^[8]。有学者^[35]通过外周静脉注射 0.5 mg/kg 的 ICG 来确定肿瘤边界与肠系膜血管的关系,发现避免血管损伤的作用较好。在成人保留肾单位或肾上腺部分切除手术中,ICG 荧光引导手术也已开展,但其在儿童肾脏肿瘤的显像特点、以及对于后腹膜神经母细胞瘤的切缘界定等问题,还需要进一步研究。

五、局限性及展望

ICG 的组织探查深度有限,一般 <10 mm,故仅用于表浅组织的探测,且其灵敏度和可见度受病灶深度影响较大;另一方面,ICG 可能存在假阳性或假阴性结果,这与药物注射的剂量、时机和组织特异性密切相关。迄今为止,大部分儿童注射剂量和时机的选择都是参考成人的数据,儿童使用 ICG 的标准化方案还需要更多的研究总结。如何提高 ICG

荧光显像的特异性和精确性值得进一步探究,如靶向荧光剂的使用可使特异性组织显影^[36]。另外,需要开展更多儿童实体肿瘤 ICG 荧光显像的研究,以扩大 ICG 在儿童实体肿瘤中的应用。

参考文献

- van Manen L, Handgraaf H, Diana M, et al. A practical guide for the use of indocyanine green and methylene blue in fluorescence-guided abdominal surgery[J]. J Surg Oncol, 2018, 118(2):283-300. DOI:10.1002/jso.25105.
- Landsman ML, Kwant G, Mook GA, et al. Light-absorbing properties, stability, and spectral stabilization of indocyanine green[J]. J Appl Physiol, 1976, 40(4):575-583. DOI:10.1152/jappl.1976.40.4.575.
- De Grand AM, Lomnes SJ, Lee DS, et al. Tissue-like phantoms for near-infrared fluorescence imaging system assessment and the training of surgeons[J]. J Biomed Opt, 2006, 11(1):014007. DOI:10.1117/1.2170579.
- Lim C, Vibert E, Azoulay D, et al. Indocyanine green fluorescence imaging in the surgical management of liver cancers: Current facts and future implications[J]. J Visc Surg, 2014, 151(2):117-124. DOI:10.1016/j.jvisurg.2013.11.003.
- Lau CT, Au DM, Wong KKY. Application of indocyanine green in pediatric surgery[J]. Pediatr Surg Int, 2019, 35(10):1035-1041. DOI:10.1007/s00383-019-04502-4.
- Engel E, Schraml R, Maisch T, et al. Light-induced decomposition of indocyanine green[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2008, 49(5):1777-1783. DOI:10.1167/iovs.07-0911.
- Cherrick GR, Stein SW, Leevy CM, et al. Indocyanine green: observations on its physical properties, plasma decay, and hepatic extraction[J]. J Clin Invest, 1960, 39(4):592-600. DOI:10.1172/JCI104072.
- Goldstein SD, Heaton TE, Bondoc A, et al. Evolving applications of fluorescence guided surgery in pediatric surgical oncology: A practical guide for surgeons[J]. J Pediatr Surg, 2021, 56(2):215-223. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2020.10.013.
- Alander JT, Kaartinen I, Laakso A, et al. A review of indocyanine green fluorescent imaging in surgery[J]. Int J Biomed Imaging, 2012, 2012:940585. DOI:10.1155/2012/940585.
- Speich R, Saesseli B, Hoffmann U, et al. Anaphylactoid reactions after indocyanine-green administration[J]. Ann Intern Med, 1988, 109(4):345-346. DOI:10.7326/0003-4819-109-4-345_2.
- Ishizawa T, Fukushima N, Shibahara J, et al. Real-time identification of liver cancers by using indocyanine green fluorescent imaging[J]. Cancer, 2009, 115(11):2491-2504. DOI:10.1002/cncr.24291.
- 中华医学会数字医学分会, 中国研究型医院学会数字医学临床外科专业委员会, 中国图学学会医学图像与设备专业委员会, 等. 计算机辅助联合吲哚菁绿分子荧光影像技术在肝脏肿瘤诊断和手术导航中的应用专家共识[J]. 中国实用外科杂志, 2017, 37(5):531-538. DOI:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2017.05.18. Digital Medicine Branch of Chinese Medical Association, Digital Medicine Clinical Surgery Professional Committee of Chinese Research Hospital Association, Medical Image and Equipment Professional Committee of Chinese Graphics Society, et al. Expert Consensus on the Application of Computer-aided Combined Indocyanine Green Molecular Fluorescent Imaging Technology for Liver Tumor Diagnosis and Surgical Navigation[J]. Chin J Pract Surg, 2017, 37(5):531-538. DOI:10.19538/j.cjps.issn1005-2208.2017.05.18.
- Yamamichi T, Oue T, Yonekura T, et al. Clinical application of indocyanine green (ICG) fluorescent imaging of hepatoblastoma[J]. J Pediatr Surg, 2015, 50(5):833-836. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2015.01.014.
- Souzaki R, Kawakubo N, Matsuura O, et al. Navigation surgery using indocyanine green fluorescent imaging for hepatoblastoma patients[J]. Pediatr Surg Int, 2019, 35(5):551-557. DOI:10.1007/s00383-019-04458-5.
- 姚伟, 董岩然, 李凯, 等. 吲哚菁绿荧光显像技术在肝母细胞瘤精准切除手术中的应用[J]. 临床小儿外科杂志, 2019, 18(2):107-111. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2019.02.008. Yao W, Dong KR, Li K, et al. Application of indocyanine green fluorescence imaging technique in precise hepatectomy for hepatoblastoma[J]. J Clin Ped Sur, 2019, 18(2):107-111. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2019.02.008.
- Haimerl M, Jung EM, Beyer LP, et al. Chronic liver disease: Correlation of CEUS-based microperfusion and indocyanine green clearance[J]. Clin Hemorheol Microcirc, 2015, 61(2):195-204. DOI:10.3233/CH-151990.
- 王铭, 唐红. 吲哚菁绿清除试验的临床应用[J]. 临床肝胆病杂志, 2017, 33(6):1183-1187. DOI:10.3969/j.issn.1001-5256.2017.06.036. Wang M, Tang H. Clinical application of indocyanine green clearance test[J]. J Clin Hepatol, 2017, 33(6):1183-1187. DOI:10.3969/j.issn.1001-5256.2017.06.036.
- 中华人民共和国国家卫生健康委员会医政医管局. 原发性肝癌诊疗规范(2019年版)[J]. 中华消化外科杂志, 2020, 19(1):1-20. DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-9752.2020.01.001. Bureau of Medical Administration, National Health Commission of People of Medical Administration, National Diagnosis and Treatment of Hepatocellular Cancer (2019 Edition)

- [J]. Chin J Dig Surg, 2020, 19(1): 1-20. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1673-9752. 2020. 01. 001.
- 19 Imamura H, Sano K, Sugawara Y, et al. Assessment of hepatic reserve for indication of hepatic resection; decision tree incorporating indocyanine green test [J]. J Hepatobiliary Pancreat Surg, 2005, 12(1): 16-22. DOI: 10. 1007/s00534-004-0965-9.
 - 20 Zhang YM, Shi R, Hou JC, et al. Liver tumor boundaries identified intraoperatively using real-time indocyanine green fluorescence imaging [J]. J Cancer Res Clin Oncol, 2017, 143(1): 51-58. DOI: 10. 1007/s00432-016-2267-4.
 - 21 Purich K, Dang JT, Poonja A, et al. Intraoperative fluorescence imaging with indocyanine green in hepatic resection for malignancy: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy studies [J]. Surg Endosc, 2020, 34(7): 2891-2903. DOI: 10. 1007/s00464-020-07543-2.
 - 22 Gotoh K, Yamada T, Ishikawa O, et al. A novel image-guided surgery of hepatocellular carcinoma by indocyanine green fluorescence imaging navigation [J]. J Surg Oncol, 2009, 100(1): 75-79. DOI: 10. 1002/jso. 21272.
 - 23 Yamada Y, Ohno M, Fujino A, et al. Fluorescence-Guided surgery for hepatoblastoma with indocyanine green [J]. Cancers (Basel), 2019, 11(8): 1215. DOI: 10. 3390/cancers11081215.
 - 24 Ishizawa T, Saiura A, Kokudo N. Clinical application of indocyanine green-fluorescence imaging during hepatectomy [J]. Hepatobiliary Surg Nutr, 2016, 5(4): 322-328. DOI: 10. 21037/hbsn. 2015. 10. 01.
 - 25 Miyata A, Ishizawa T, Tani K, et al. Reappraisal of a dye-staining technique for anatomic hepatectomy by the concomitant use of indocyanine green fluorescence imaging [J]. J Am Coll Surg, 2015, 221(2): e27-e36. DOI: 10. 1016/j. jamcollsurg. 2015. 05. 005.
 - 26 张树庚, 刘连新. 吲哚菁绿荧光融合影像引导技术在腹腔镜肝切除中的应用及展望 [J]. 中华肝胆外科杂志, 2019, 25(2): 129-131. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1007-8118. 2019. 02. 013.
Zhang SG, Liu LX. Applications and future prospects of fusion indocyanine green fluorescence imaging system during laparoscopic hepatectomy [J]. Chin J Hepatobiliary Surg, 2019, 25(2): 129-131. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1007-8118. 2019. 02. 013.
 - 27 彭宇明, 尹强, 高红强, 等. 吲哚菁绿荧光染色引导下解剖性右半肝切除治疗儿童肝脏肿瘤 [J]. 临床小儿外科杂志, 2018, 17(8): 597-599. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2018. 08. 010.
Peng YM, Yin Q, Gao HQ, et al. Anatomic right half of indocyanine green fluorescent staining hepatectomy for children with liver tumors [J]. J Clin Ped Sur, 2018, 17(8): 597-599. DOI: 10. 3969/j. issn. 1671-6353. 2018. 08. 010.
 - 28 Linke R, Ulrich F, Bechstein WO, et al. The White-test helps to reduce biliary leakage in liver resection; a systematic review and meta-analysis [J]. Ann Hepatol, 2015, 14(2): 161-167.
 - 29 Takanori S, Atsushi S, Naoki U, et al. Bile leak test by indocyanine green fluorescence images after hepatectomy [J]. Am J Surg, 2010, 200(1): e19-e23. DOI: 10. 1016/j. amjsurg. 2009. 10. 015.
 - 30 Kitagawa N, Shinkai M, Mochizuki K, et al. Navigation using indocyanine green fluorescence imaging for hepatoblastoma pulmonary metastases surgery [J]. Pediatr Surg Int, 2015, 31(4): 407-411. DOI: 10. 1007/s00383-015-3679-y.
 - 31 Newton AD, Predina JD, Corbett CJ, et al. Optimization of second window Indocyanine green for intraoperative near-infrared imaging of thoracic malignancy [J]. J Am Coll Surg, 2019, 228(2): 188-197. DOI: 10. 1016/j. jamcollsurg. 2018. 11. 003.
 - 32 Predina JD, Newton AD, Corbett C, et al. Near-infrared intraoperative imaging for minimally invasive pulmonary metastasectomy for sarcomas [J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2019, 157(5): 2061-2069. DOI: 10. 1016/j. jtevs. 2018. 10. 169.
 - 33 Valente SA, Al-Hilli Z, Radford DM, et al. Near infrared fluorescent lymph node mapping with indocyanine green in breast cancer patients; a prospective trial [J]. J Am Coll Surg, 2019, 228(4): 672-678. DOI: 10. 1016/j. jamcollsurg. 2018. 12. 001.
 - 34 Mansfield SA, Murphy AJ, Talbot L, et al. Alternative approaches to retroperitoneal lymph node dissection for paratesticular rhabdomyosarcoma [J]. J Pediatr Surg, 2020, 55(12): 2677-2681. DOI: 10. 1016/j. jpedsurg. 2020. 03. 022.
 - 35 Esposito C, Del Conte F, Cerulo M, et al. Clinical application and technical standardization of indocyanine green (ICG) fluorescence imaging in pediatric minimally invasive surgery [J]. Pediatr Surg Int, 2019, 35(10): 1043-1050. DOI: 10. 1007/s00383-019-04519-9.
 - 36 Hendricks BK, Sanai N, Stummer W. Fluorescence-guided surgery with aminolevulinic acid for low-grade gliomas [J]. J Neurooncol, 2019, 141(1): 13-18. DOI: 10. 1007/s11060-018-030266.

(收稿日期: 2021-06-11)

本文引用格式: 姚伟, 董岩然. 荧光引导技术在儿童肿瘤手术中的应用及展望 [J]. 临床小儿外科杂志, 2021, 20(10): 906-910. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 10. 002.

Citing this article as: Yao W, Dong KR. Applications and future prospects of fluorescence guided surgery for pediatric oncology [J]. J Clin Ped Sur, 2021, 20(10): 906-910. DOI: 10. 12260/lxewkzz. 2021. 10. 002.