

## · 综述 ·

# 近红外光谱技术在儿童肠道疾病诊治中的应用进展



全文二维码

陈晓庆 朱利斌

温州医科大学附属第二医院育英儿童医院小儿外科,温州 325088

通信作者:朱利斌,Email:zhulibin@wmu.edu.cn

**【摘要】** 肠道疾病是儿童常见疾病之一,儿童肠道疾病多因临床表现不典型、患儿表达不清楚而难以早期明确诊断,如发生肠道缺血缺氧性疾病,需尽早明确诊断并予以治疗。近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)技术是一种无创光学成像技术,它通过近红外光测量组织中氧合和脱氧血红蛋白的浓度变化,来间接评估肠道血流动力学变化。近年来,NIRS 技术在监测局部组织氧合、体现局部组织活力和鉴别良恶性肿瘤及检测生物标志物等方面得到了较好的应用,可以起到预判肠道疾病的发生发展、评估肠道疾病预后、改善治疗效果等作用。本文就 NIRS 技术在儿童肠道疾病中的应用进展进行综述。

**【关键词】** 谱学, 近红外线; 诊断; 肠, 病理学; 小肠结肠炎, 坏死性; 结肠炎

**基金项目:**浙江省医药卫生项目(2021PY014);浙江省基础公益研究计划项目(LGF21H040009);温州市社会发展(医疗卫生)科技项目(ZY2021027)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202111025-016

## Recent advances of clinical application of near infrared spectroscopy technology for pediatric intestinal diseases

Chen Xiaoqing, Zhu Libin

Department of Pediatric Surgery, Second Affiliated Hospital, Wenzhou Medical University/ Yuying Children's Hospital, Wenzhou 325088, China

Corresponding author: Zhu Libin, Email: zhulibin@wmu.edu.cn

**【Abstract】** Intestinal diseases are one of the most common diseases in children. Due to atypical clinical manifestations and indistinct oral expressions in young children, the diagnosis of pediatric intestine is mostly delayed while intestinal ischemia and hypoxia occur frequently as a clinical emergency. Near infrared spectroscopy (NIRS) is a noninvasive optical imaging tool of indirectly assessing intestinal hemodynamics through near-infrared light for measuring the concentration changes of oxyhemoglobin and deoxyhemoglobin in tissues. In recent years, NIRS technology has made great headways in monitoring local tissue oxygenation situation, reflecting local tissue vitality, identifying benign and malignant tumors and detecting biomarkers. It can play some roles in predicting the occurrence and severity of intestinal diseases, improving the therapeutic effect of diseases and assessing the prognosis of intestinal diseases. This review focused upon clinical applications of NIRS technology for pediatric surgical intestinal diseases.

**【Key words】** Spectroscopy, Near-Infrared; Diagnosis; Intestines, Pathology; Enterocolitis, Necrotizing; Colitis

**Fund program:** Zhejiang Medical and Health Project (2021PY014); Basic Public Welfare Research Program of Zhejiang Province (LGF21H040009); Wenzhou Municipal Project of Social Development (Healthcare) Science & Technology (ZY2021027)

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202111025-016.

近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIRS)技术是一种无创、可用于实时监测局部组织氧饱和度(regional oxygen

saturation, rSO<sub>2</sub>)的新技术。由于人体血液内氧合血红蛋白(oxyhemoglobin, HbO<sub>2</sub>)和脱氧血红蛋白(deoxyhemoglobin,

Hb)是近红外光的主要吸收物质,根据血氧浓度变化时  $\text{HbO}_2$  和 Hb 对光的吸收不同,即可利用 NIRS 来监测局部组织  $\text{HbO}_2$  和 Hb 的浓度变化,从而评价局部组织血氧情况。局部组织氧饱和度是指局部组织中氧合血红蛋白浓度占总血红蛋白浓度的百分比,即  $\text{rSO}_2 = \text{HbO}_2 / (\text{HbO}_2 + \text{Hb}) \times 100\%$ 。使用 NIRS 技术监测肠道氧合情况有助于早期发现肠道缺血缺氧性改变。但目前国内 NIRS 技术在肠道方面的应用尚不全面,仅少数情况下用于检测肠道血氧饱和度,对肠道疾病其他方面的应用研究涉及较少。从肠道方面深入,通过近红外光谱及其衍生的近红外荧光技术,可以进一步检测和预测肠道的生机、炎症及肿瘤发生,进而促进儿童肠道疾病无创诊断技术的发展。

将近红外光谱技术应用于肠道的初衷是为了实现术中客观、精准鉴别肠坏死,通过监测肠管血氧饱和度来明确肠缺血和肠坏死是否存在明确的界限,在儿童肠道疾病诊治中有着较广泛的应用前景。对于肠缺血坏死性疾病的手术治疗,如新生儿坏死性小肠结肠炎(neonatal necrotizing enterocolitis, NEC)、肠扭转、肠套叠等,共同的手术难点在于术中肠管活力的判断,而恢复血液循环后肠管活力的判断则是影响预后的关键。目前临床上大多以术者的主观经验(如观察肠管颜色、肠管蠕动、肠系膜动脉搏动、温生理盐水湿敷及利多卡因注射后肠管的转归情况)来判断肠管的生机,进而确定肠管切除范围,目前尚无法实现精准切除。若切除肠管范围过大,有可能出现短肠综合征;而保留活力可疑的肠管可引起迟发性肠坏死、吻合口漏、腹膜炎致再次手术探查等。有研究表明,NEC 患儿的坏死肠管如未完全切除,可能会增加新生儿病死率<sup>[1]</sup>。因此,临床上急需一种在术中快速判断肠管活力的技术。近年 NIRS 技术及其衍生的近红外荧光成像技术被较多应用于监测肠管活力、评估肠道炎症及判断肠管是否发生恶变。

### 一、监测肠道氧合情况

目前临床上使用无创指端脉搏血氧饱和度以监测全身血氧情况,但其并不能有效反映局部组织的具体氧合情况。当某些局部组织发生缺血坏死导致其局部血氧情况变化时,指端脉搏血氧饱和度可以无任何改变。而 NIRS 通过检测局部组织的  $\text{HbO}_2$  和 Hb 浓度变化可以实现实时、无创监测局部组织血氧情况。Seager 等<sup>[2]</sup>利用 NIRS 技术体外监测不同情况下新生儿肠道氧合情况,包括正常小儿、早产儿、喂养不耐受及患 NEC 的新生儿。结果表明早产儿、喂养不耐受、NEC 患儿肠道  $\text{rSO}_2$  较正常小儿低,因此 NIRS 可用于指导制定早产儿喂养方案,以减少胃肠道并发症;同时,可根据血氧情况评估 NEC 的进展。Ziyan 等<sup>[3]</sup>研究了 NIRS 对于体外鉴别嵌顿疝患儿疝囊内肠管血流减少的作用,采取 NIRS 技术监测肠道氧合情况,比较正常区和疝区组织氧合的差异,进而评估嵌顿疝的严重程度,但目前尚不能鉴别嵌顿疝和绞窄疝。

### 二、监测肠道血供情况

目前临床上用于判断肠管生机的标准主要是组织学及

细胞学表现,如肠坏死的病理表现为核固缩、碎裂;随着缺血时间延长,出现肠黏膜、黏膜下层、肌层及浆膜层结构紊乱,毛细血管充血,肠道炎症细胞浸润。但病理检查有以下不足:①取材局限,只能显示局部肠管的生机;②检测时间长,不能实时显现肠管生机;③存在不确定性,病理诊断迄今尚缺乏严格的客观标准。在监测肠管血氧情况的基础上,通过近红外荧光技术对肠系膜血管进行成像,从而体现肠管血供情况,以进一步评估肠管的生机。吲哚菁绿(indocyanine green, ICG)是一种小分子造影剂,经静脉给药后快速与血浆蛋白结合,随血液循环经肝脏代谢后,以非结合形式随胆汁经肠道排出体外,目前已经成为 NIRS 在血管血供情况可视化呈现的应用方式之一<sup>[4]</sup>。对于血供正常的肠管组织,在静脉注射 ICG 后 15 秒,肠系膜上动脉及其分支即可被识别。肠系膜和肠壁可显示荧光至少 5 min,20 min 后 90% 的造影剂可被清除。因此若静脉注射 ICG 后观察到肠系膜和肠壁显示均匀荧光,表明肠管生机良好<sup>[5]</sup>;而坏死肠管由于血液循环中断,因而无荧光显像。Nitori 等<sup>[6]</sup>在手术中使用近红外荧光技术对缺血和可疑坏死的肠管进行显像,ICG 随血液循环到达肠系膜上动脉及其分支,分布在肠管周围,数分钟后无荧光分布的肠管可考虑为血液循环中断,即肠坏死。在肠道手术中,有学者采取围手术期静脉注射 ICG,观察患儿肠系膜和肠壁是否显示均匀荧光,来评估肠管血运再通情况<sup>[7]</sup>。Liot 等<sup>[8]</sup>阐述了近红外荧光血管成像技术在涉及肠缺血等腹部急诊手术中的应用,用于监测肠管血液灌注情况,以合理切除坏死肠管,从而减少术后迟发性肠坏死、吻合口瘘等并发症。尹强<sup>[9]</sup>报道了 ICG 近红外荧光成像技术在腹腔镜巨结肠根治术中的应用,可于术中清晰显示肠管血运,实现肠管精准切除。袁妙贤等<sup>[10]</sup>在先天性胆总管囊肿腹腔镜根治术中引入 ICG 近红外荧光成像技术,用于术中显示扩张胆管的位置及其毗邻组织的解剖关系、判断胆肠吻合口血运以及评估是否存在胆漏等。

### 三、评估肠蠕动功能

肠蠕动功能是评估肠管活力的重要指标之一,肠管发生缺血坏死时肠蠕动减弱甚至消失。临床上也有医生应用肠蠕动情况来判断肠管活力,如目前用腹部超声监测肠蠕动水平以间接评估 NEC 的严重程度<sup>[11]</sup>。

一般而言,腹部超声能够显示肠管的蠕动,在较暗的腹膜低回声背景下,正常肠壁表现为多条白色回声线,其蠕动收缩呈“蠕虫状”运动。Akotia 等<sup>[12]</sup>研究发现,超声下肠壁蠕动的图像特征包括旋转运动、移位或 30 秒以上的回声突然消失或再现。24 h 内较高的肠道运动水平对应较高的平均肠道  $\text{rSO}_2$ ,通过 NIRS 所测  $\text{rSO}_2$  数值高低可以反映经腹超声所测肠蠕动情况:经腹超声所测肠蠕动频率增加时,肠道  $\text{rSO}_2$  升高,可能是由肠蠕动产生的代谢产物(如腺苷)导致血管扩张、血流量增加引起;肠蠕动减少或者消失时,对应肠管的  $\text{rSO}_2$  下降。结合腹部超声检查结果,可以进一步评估两者之间是否存在量的关系,即肠蠕动次数是否存在对应的肠道  $\text{rSO}_2$  值,从而实现 NIRS 技术的连续、无创评估肠管蠕

动情况。这可能会对评估喂养不耐受或存在 NEC 风险的早产儿有重要意义,可帮助评估提前或推迟早产儿肠内喂养。对于肠蠕动正常的患儿,可以立即开启肠内营养,以便尽早调整喂养方案;而对于肠蠕动异常的患儿,应推迟肠内营养的时间<sup>[13]</sup>。但婴儿活动、呼吸期间膈肌收缩引起的腹腔脏器运动、超声探头运动以及肠腔内空气的存在等,都有可能影响超声图像质量。

#### 四、检测组织蛋白酶活性

组织蛋白酶属于半胱氨酸蛋白酶家族,广泛参与细胞蛋白质的转换、降解和组织再调节。消化道上皮细胞以抗原递呈方式或细菌刺激巨噬细胞后分泌膜状分泌物的方式刺激 CD4<sup>+</sup>T 细胞表达组织蛋白酶,在炎症时该过程会异常表达,因此组织蛋白酶可作为一种炎症的生物标志物<sup>[14]</sup>。Zhang 等<sup>[15]</sup>使用右旋糖酐硫酸钠(dextran sulfate sodium,DSS)制作小鼠炎症性肠病(inflammatory bowel disease,IBD)、结肠炎模型后,在实验中引入 ProSense680 探针,它在组织蛋白酶介导的剪切作用下能够被激活,并释放极强的荧光信号(在完整状态下并不发射荧光信号);且荧光信号的强度与肠道炎症的严重程度呈正相关,即荧光信号越强,提示肠道炎症越严重。近红外荧光技术可以检测到信号的变化,从而评估胃肠道炎症损伤的程度。在小鼠 IBD 模型中引入 NIRS,通过检测肠壁通透性及中性粒细胞弹性蛋白酶活性来评估肠黏膜组织炎症的严重程度。Liu 等<sup>[16]</sup>研究表明,IBD 的病因与一氧化氮(nitric oxide,NO)上调有关,并报道了一种供体-受体-供体(D-a-D)型近红外荧光探针,可用于检测活细胞溶酶体中的外源性和内源性 NO,从而预测 IBD 是否处于活跃期。Fan 等<sup>[17]</sup>使用了一种 BPN-BBTD 的纳米颗粒(nanoparticles,NPs)作为纳米探针,经聚集诱导发射后(aggregation-induced emission,AIE)用于 IBD 的诊断。BPN-BBTD NPs 经静脉注射后能在炎症部位有效聚集,主要聚集在黏膜及黏膜下层,并在 793 nm 激光照射下发出明亮的 NIR-II 荧光,可直接在组织水平上检测到,从而可视化和精确定位炎症病变,监测 IBD 的病情严重程度以及后期药物治疗效果。这些对于 NEC、炎症性肠病如溃疡性结肠炎(ulcerative colitis,UC)和克罗恩病(crohn's disease,CD)等肠道炎症病变的诊治具有重要参考价值。

#### 五、鉴别结直肠恶性肿瘤

结直肠肿瘤的早期症状并不明显,绝大多数结直肠癌在确诊时多以进展或转移为结局。因此,需要发展一种能在早期发现恶性肿瘤的准确、快速、方便、廉价的诊断方法,以提高患儿生存率;同时协助评估肿瘤类型及分期,以指导选择合适的治疗方案。

由于细胞从正常向癌变进展的过程中,常伴随着细胞表面分子组成的变化,例如细胞表面蛋白的显著变化和细胞粘附分子的下调。Chen 等<sup>[18]</sup>运用化学计量学技术研究了结肠癌患者与正常人肠道组织的近红外光谱差异,发现癌变组织与正常组织的蛋白质、碳水化合物等生物物质在近红外光下的吸收谱不同,从而预测恶性肿瘤的发生。Zhang 等<sup>[19]</sup>将

NIRS 技术应用于检测结肠癌(colorectal cancer,CRC)的 B-快速加速纤维肉瘤(B-rapidly accelerated fibrosarcoma,BRAF)基因突变,该突变涉及缬氨酸在密码子 600(V600E)处被谷氨酸取代,缬氨酸和谷氨酸之间最大的结构差异在于缬氨酸中的(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>CH-和谷氨酸中的-(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>COOH 基团,因而两者在近红外光谱中具有不同的表征。基于 brafv600e 突变体与野生型的分子差异,在指导 CRC 的靶向治疗中将起到至关重要的作用。与耗时和高成本的聚合酶链反应(polymerase chain reaction,PCR)和基因测序相比,近红外检测具有灵敏度高、无需样品制备以及固有的快速性和低成本等优点,且不受影响免疫组织化学(immunohistochemistry,IHC)染色的因素干扰。在肠道肿瘤的分型鉴别上具有重大意义。徐云雪等<sup>[20]</sup>报道了一种近红外二区小分子探针 H2a-4T,其与肿瘤靶向药-西妥昔单抗混合可以形成稳定的 H2a-4T@Cetuximab 复合物,此复合物对结肠癌小鼠具有很好的肿瘤靶向成像效果,可同时实现肿瘤靶向治疗的目的。

#### 六、判断术后吻合口漏

吻合口漏是一种严重的并发症,吻合口漏的一个可能原因是血供不足,因此术中利用 ICG 及近红外荧光成像技术观察吻合口的血液灌注情况,可能有助于减少术后吻合口漏的发生<sup>[21]</sup>。另一种直观的方法是术中评估肠壁的连续性。Ashitate 等<sup>[22]</sup>在动物实验中利用 700 nm 近红外荧光口服剂,即含叶绿素 a 和叶绿素 b 的小球藻(在体内外能产生高荧光强度),小球藻经胃管进入消化道后可在 700 nm 的近红外光下发出荧光,从而对肠壁进行成像,实现实时独立评估肠道管腔完整性。但目前这种特殊的小球藻配方并未获得美国食品药品监督管理局批准用于临床。相比起目前最普及的消化道造影技术,NIRS 技术具有无辐射、损伤小的优点;同时也期望应用于提早发现肠闭锁、肠狭窄、肠扭转、肠套叠、麦克尔憩室等消化道连续性出现中断或异常的情况。

总之,越来越多的研究证实,NIRS 技术及其衍生的近红外荧光技术在儿童消化道疾病诊治中具有无创、实时的优势,若与数字图像融合技术结合,可以开发临床应用医疗设备,极具转化研发价值。但 NIRS 技术尚处于临床应用前研究阶段,仍有较多核心问题需要探索,如数学建模解决检测数据与肠道坏死程度关系的问题;肠坏死可视化图像再现技术的问题等,有待今后进一步深入研究。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

**作者贡献声明** 文献检索为陈晓庆,论文讨论分析为陈晓庆、朱利斌

#### 参 考 文 献

- [1] Garg PM, Bernieh A, Hitt MM, et al. Incomplete resection of necrotic bowel may increase mortality in infants with necrotizing enterocolitis[J]. *Pediatr Res*, 2021, 89(1): 163-170. DOI: 10.1038/s41390-020-0975-6.
- [2] Seager E, Longley C, Aladangady N, et al. Measurement of gut oxygenation in the neonatal population using near-infrared spectroscopy: a clinical tool? [J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2020, 105(1): 76-86. DOI: 10.1136/archdischild-2018-316

- 750.
- [3] Ziyen M, Kalkan A, Bilir Ö, et al. A new technique in the evaluation of strangulated and incarcerated hernias: Near-infrared spectroscopy [J]. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*, 2020, 26 (2): 178-185. DOI: 10.14744/tjtes. 2019. 72627.
  - [4] 贾信奇, 苏志雷, 赵俊杰, 等. 吲哚菁绿代谢试验在肝脏病变中的应用及进展 [J]. *肝脏*, 2019, 24 (5): 580-582. DOI: 10.14000/j. cnki. issn. 1008-1704. 2019. 05. 034.
  - Jia XQ, Su ZL, Zhao JJ, et al. Applications and advances of indocyanine green metabolism test in liver lesions [J]. *Liver*, 2019, 24 (5): 580-582. DOI: 10.14000/j. cnki. issn. 1008-1704. 2019. 05. 034
  - [5] Ryu S, Yoshida M, Ohdaira H, et al. Intestinal blood flow assessment by indocyanine green fluorescence imaging in a patient with the incarcerated umbilical hernia: Report of a case [J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2016, 8: 40-42. DOI: 10.1016/j.amsu. 2016. 04. 020.
  - [6] Nitori N, Deguchi T, Kubota K, et al. Successful treatment of non-occlusive mesenteric ischemia (NOMI) using the HyperEye Medical System for intraoperative visualization of the mesenteric and bowel circulation: report of a case [J]. *Surg Today*, 2014, 44 (2): 359-362. DOI: 10.1007/s00595-013-0503-y.
  - [7] van den Bos J, Jongen A, Melenhorst J, et al. Near-infrared fluorescence image-guidance in anastomotic colorectal cancer surgery and its relation to serum markers of anastomotic leakage: a clinical pilot study [J]. *Surg Endosc*, 2019, 33 (11): 3766-3774. DOI: 10.1007/s00464-019-06673-6.
  - [8] Liot E, Assalino M, Buchs NC, et al. Does near-infrared (NIR) fluorescent angiography modify operative strategy during emergency procedures? [J]. *Surg Endosc*, 2018, 32 (10): 4351-4356. DOI: 10.1007/s00464-018-6226-9.
  - [9] 尹强. 吲哚菁绿荧光成像技术在小儿外科领域的应用与局限 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2021, 20 (10): 901-905. DOI: 10.12260/lxewkzz. 2021. 10. 001.
  - Yi Q. Applications and prospects of indocyanine green fluorescent imaging during pediatric surgery [J]. *J Clin Ped Sur*, 2021, 20 (10): 901-905. DOI: 10.12260/lxewkzz. 2021. 10. 001.
  - [10] 袁妙贤, 尹强, 季春宜, 等. 三维 CT 重建联合 ICG 荧光染色技术在先天性胆管扩张症腹腔镜根治术中的应用 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2020, 19 (7): 614-618. DOI: 10.3969/j. issn. 1671-6353. 2020. 07. 010.
  - Yuan MX, Yin Q, Ji CY, et al. Application of three-dimensional computed tomography reconstruction plus indocyanine green fluorescent staining technique during radical laparoscopy for congenital biliary dilatation [J]. *J Clin Ped Sur*, 2020, 19 (7): 614-618. DOI: 10.3969/j. issn. 1671-6353. 2020. 07. 010.
  - [11] 王华敏. 腹部超声在诊断新生儿坏死性小肠结肠炎中的价值 [J]. *现代诊断与治疗*, 2018, 29 (12): 1906-1908. DOI: 10.3969/j. issn. 1001-8174. 2018. 12. 030.
  - Wang HM. Value of abdominal ultrasonography in diagnosing neonatal necrotizing enterocolitis [J]. *Modern Diagnosis & Treatment*, 2018, 29 (12): 1906-1908. DOI: 10.3969/j. issn. 1001-8174. 2018. 12. 030.
  - [12] Akotia DH, Durham JT, Arnell KM, et al. Relationship between near-infrared spectroscopy and transabdominal ultrasonography: noninvasive monitoring of intestinal function in neonates [J]. *Med Sci Monit*, 2016, 22: 61-68. DOI: 10.12659/msm. 895730.
  - [13] Gao T, Cheng MH, Xi FC, et al. Predictive value of transabdominal intestinal sonography in critically ill patients: a prospective observational study [J]. *Crit Care*, 2019, 23 (1): 378. DOI: 10.1186/s13054-019-2645-9.
  - [14] 谢然佳, 邓莉. 半胱氨酸蛋白酶抑制剂 C 与炎症性疾病关系的研究进展 [J]. *广东药科大学学报*, 2019, 35 (4): 597-600. DOI: 10.16809/j. cnki. 2096-3653. 2019032503.
  - Xie RJ, Deng L. Research advances in the relationship between cystatin C and inflammatory diseases [J]. *Journal of Guangdong Pharmaceutical University*, 2019, 35 (4): 597-600. DOI: 10.16809/j. cnki. 2096-3653. 2019032503.
  - [15] Zhang L, Wallace CD, Erickson JE, et al. Near infrared readouts offer sensitive and rapid assessments of intestinal permeability and disease severity in inflammatory bowel disease models [J]. *Sci Rep*, 2020, 10 (1): 4696. DOI: 10.1038/s41598-020-61756-y.
  - [16] Liu S, Zhu Y, Wu P, et al. Highly sensitive D-A-D-type near-infrared fluorescent probe for nitric oxide real-time imaging in inflammatory bowel disease [J]. *Anal Chem*, 2021, 93 (11): 4975-4983. DOI: 10.1021/acs.analchem.1c00281.
  - [17] Fan X, Xia Q, Zhang Y, et al. Aggregation-Induced emission (AIE) nanoparticles-assisted NIR-II fluorescence imaging-guided diagnosis and surgery for inflammatory bowel disease (IBD) [J]. *Adv Healthc Mater*, 2021, 10 (24): e2101043. DOI: 10.1002/adhm. 202101043.
  - [18] Chen H, Lin Z, Wu H, et al. Diagnosis of colorectal cancer by near-infrared optical fiber spectroscopy and random forest [J]. *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc*, 2015, 135: 185-191. DOI: 10.1016/j.saa. 2014. 07. 005.
  - [19] Zhang X, Yang Y, Wang Y, et al. Detection of the BRAF V600E mutation in colorectal cancer by nir spectroscopy in conjunction with counter propagation artificial neural network [J]. *Molecules*, 2019, 24 (12): 2238. DOI: 10.3390/molecules24122238.
  - [20] 徐云雪, 刘仁发, 徐坤, 等. 手术导航用荧光探针 [J]. *化学进展*, 2021, 33 (1): 52-65. DOI: 10.7536/PC201014.
  - Xu YX, Liu RF, Xu K, et al. Fluorescent probes for intraoperative navigation [J]. *Prog Chem*, 2021, 33 (1): 52-65. DOI: 10.7536/PC201014.
  - [21] 朱成章, 张维胜, 杜斌斌, 等. 达芬奇手术系统荧光成像技术在结直肠癌手术中的应用进展 [J]. *机器人外科学杂志 (中英文)*, 2020, 1 (5): 332-337. DOI: 10.12180/j. issn. 2096-7721. 2020. 05. 004.
  - Zhu CZ, Zhang WS, Du BB, et al. Advances in the application of Da Vinci fluorescent imaging technology during colorectal surgery [J]. *Chinese Journal of Robotic Surgery (Chinese-English)*, 2020, 1 (5): 332-337. DOI: 10.12180/j. issn. 2096-7721. 2020. 05. 004.
  - [22] Ashitate Y, Vooght CS, Hutteman M, et al. Simultaneous assessment of luminal integrity and vascular perfusion of gastrointestinal tract using dual-channel near-infrared fluorescence [J]. *Mol Imaging*, 2012, 11 (4): 301-308.

(收稿日期: 2021-11-13)

**本文引用格式:** 陈晓庆, 朱利斌. 近红外光谱技术在儿童肠道疾病诊治中的应用进展 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2022, 21 (10): 991-994. DOI: 10.3760/ema. j. cn101785-202111025-016.

**Citing this article as:** Chen XQ, Zhu LB. Recent advances of clinical application of near infrared spectroscopy technology for pediatric intestinal diseases [J]. *J Clin Ped Sur*, 2022, 21 (10): 991-994. DOI: 10.3760/ema. j. cn101785-202111025-016.