

·综述·

无线动力胶囊的研究与应用进展

何晨 蒋熙 潘骏 廖专

海军军医大学第一附属医院消化内科, 上海 200433

通信作者: 廖专, Email: liaozhuan@smmu.edu.cn

【提要】 无线动力胶囊是一种能够获取胃肠道生理参数(温度、压力、pH值)的工具。它具有尺寸小、易于吞咽、无辐射以及非侵入性检查的特点。在胃轻瘫、便秘等胃肠道运动障碍疾病中得到了广泛应用,是目前可疑胃肠道多区域运动障碍患者的首选检查方式。本文对生理功能检测胶囊系统的组成及工作原理作一综述,评估其在胃肠道不同部位的应用现状并探讨其未来可能的发展潜力。

【关键词】 胃肠道; 无线动力胶囊; 动力障碍; 生理功能

基金项目: 长海医院教学成果立项培育项目(CHPY2021B17)

Progress in the research and application of wireless motility capsule

He Chen, Jiang Xi, Pan Jun, Liao Zhuan

Department of Gastroenterology, The First Affiliated Hospital of Naval Medical University, Shanghai 200433, China

Corresponding author: Liao Zhuan, Email: liaozhuan@smmu.edu.cn

胃肠道动力障碍包括胃轻瘫、功能性消化不良、便秘等问题,大多数患者并未发生器质性病变,全球至少20%人口表现出了与胃肠道动力障碍相关的消化症状^[1]。评估这一人群的胃肠动力有助于明确诊断并指导后续治疗。无线动力胶囊是一种无创、无辐射、非侵入的胃肠动力检测工具,在随着消化道蠕动而移动的过程中,能够对胃肠道不同部位的pH值、温度、压力信息进行检测与采集,从而实现对整个胃肠道生理功能的评估。目前临床上常用的无线动力胶囊是于2009年获得美国食品和药物管理局(Food and Drug Administration, FDA)批准的Smartpill®胶囊^[2],目前已经积累了十余年的临床应用经验。因此,本文以Smartpill®为例,介绍无线动力胶囊系统的构成及工作原理,评估无线动力胶囊在胃肠道不同部位的检测效能。

一、无线动力胶囊系统组成及其工作原理

无线动力胶囊系统由三部分组成:一次性胶囊(长径26.8 mm,直径11.7 mm)、信号接收器和数据处理软件。吞入的一次性胶囊设有温度、pH值和压力传感器,能够连续监测其所处环境的温度、pH值和压力,传感器将采集到的信息传递给体外的接收器,同时能根据上述信息的特征模式确定胶囊在胃肠道内的相对位置。此外,根据上述相关指标的记录,数据处理软件能够精确计算胃排空时间

(gastric emptying time, GET)、小肠转运时间(small bowel transit time, SBTT)、结肠转运时间(colon transit time, CTT)以及全消化道转运时间(whole gastrointestinal transit time, WGTT)。值得注意的是,无线动力胶囊是不可消化的固体,需跟随研磨后的固体颗粒在Ⅲ期迁移复合运动(migrating motor complex, MMC)的推动下通过幽门进入十二指肠,因此无线动力胶囊测量的是胃肠道转运固体的过程^[3]。

无线动力胶囊在胃肠道内采集的数据包括无线动力胶囊所处环境的pH值、温度和压力,通过这些数据的变化可以分析出无线动力胶囊在胃肠道内的具体位置,进而推导出无线动力胶囊在胃肠道各个区域停留的时间。无线动力胶囊进入人体的标志是温度的突然升高。因胃内为酸性、小肠内为碱性环境,无线动力胶囊从酸性的胃窦移动到了碱性的十二指肠的过程表现为pH值明显升高,因此GET被定义为从摄入无线动力胶囊到pH值突然升高(升高>3个单位或pH=4)的时间^[3-4]。胃肠道生物群因聚集部位不同而表现出一定的差异,盲肠的微生物环境催生了大量的短链脂肪酸,导致该区域pH值较小肠环境大幅下降,因此SBTT是指pH值突然升高(持续至少30 min)到突然下降(下降>1个单位)的时间^[5]。CTT指无线动力胶囊从进入结直肠到排出体外的时间,在无线动力胶囊检测的数据中可通过温度的

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20230410-00474

收稿日期 2023-04-10 本文编辑 钱程

引用本文: 何晨, 蒋熙, 潘骏, 等. 无线动力胶囊的研究与应用进展[J]. 中华消化内镜杂志, 2023, 40(12): 1032-1036. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20230410-00474.



下降以及测量数据(温度、pH值、压力)的突然缺失,并结合受试者日常排便习惯推断无线动力胶囊排出体外的时间节点。通过结合 GET、SBTT 以及 CTT 的测量值,可以推导出 WGTT(表 1)。

表 1 无线动力胶囊标准转运时间^[6-7]

测量区域	标准转运时间
胃排空时间(GET)	2~5 h
小肠转运时间(SBTT)	2.5~6 h
结肠转运时间(CTT)	10~59 h
全消化道转运时间(WGTT)	14~73 h

注:无线动力胶囊电池寿命>5 d

无线动力胶囊还能测量胃肠道的腔内压力,记录和传输胃肠道收缩的幅度和频率,然后使用分析软件将上述数据转换为曲线下面积和运动指数,产生标准化的压力分布特征。Kloetzer 等^[4]的研究利用无线动力胶囊分别测量健康人群和胃轻瘫患者的胃肠道生理参数,比较二者胃和小肠测量期间的收缩次数、曲线下面积和运动指数,发现胃轻瘫患者的胃肠道收缩次数以及运动指数明显低于健康人群,提示无线动力胶囊能够区分健康人群和胃轻瘫患者,并测量了健康人群胃和近端小肠的压力分布特征。但是无线动力胶囊只能检测单一位点的压力数据,无法采集蠕动波的传播,这也是无线动力胶囊未来需要解决的问题之一。

二、无线动力胶囊的临床应用及其效能

1. 无线动力胶囊在胃排空功能障碍患者中的应用:胃轻瘫是指在无机械性梗阻的情况下出现的胃潴留,其临床症状为恶心、呕吐、早饱及餐后饱胀感^[8],女性与老年人多发,其发病率分别为 9.8/10 万与 10.5/10 万^[9-10]。严重的胃轻瘫可能导致患者体重下降、营养不良,甚至脱水。糖尿病与胃轻瘫高度相关,可能导致患者血糖控制不佳^[11]。目前,胃排空闪烁扫描是公认的诊断胃轻瘫的“金标准”^[12]。受检者在检查前需要食用^{99m}Tc 标记的膳食,然后通过胃排空闪烁扫描测量胃排空的情况。虽然这一方法是非侵入性的,但是胃排空闪烁扫描使患者暴露于一定剂量的辐射之下。呼气法是通过观察与可消化物质结合的非放射性¹³C 同位素的转运情况,间接估计胃排空的状态^[13]。胃排空闪烁扫描和呼气法的检测时间通常为 6 h,对受检者与检查者来说都存在一定的不便。Kuo 等^[14]的研究分别用无线动力胶囊和胃排空闪烁扫描对 61 例胃轻瘫患者与 87 例健康受试者进行了检测。受试者在摄入无线动力胶囊和^{99m}Tc 放射标记餐后,每 30 分钟获取一次闪烁扫描图像,持续 6 h。结果显示,无线动力胶囊与胃排空闪烁扫描对 GET 在 2 h 与 4 h 测量结果的相关系数分别为 0.63 和 0.73,对胃轻瘫诊断的灵敏度为 0.65,特异度为 0.87。基于此,无线动力胶囊被认为具有替代胃排空闪烁扫描的潜力。虽然无线动力胶囊并不能像摄入的放射性膳食那样,完全模拟食物在胃肠道内转运的生理过程,但 Cassilly 等^[3]的研究证实胶囊的排空与固体食物的排空具有一定的相关性($r=0.565$)。

2. 无线动力胶囊在小肠运动功能障碍患者中的应用:小肠功能运动障碍是指由小肠动力异常引起的各种小肠疾病,临床表现有腹胀、吸收不良等。系统性疾病如内分泌、神经系统疾病等大多数不可逆的疾病是引起小肠运动障碍最常见的病因,多发生机械性梗阻、假性梗阻等^[15]。评估小肠转运状态的方法有胃窦十二指肠测压(antroduodenal manometry, ADM)、呼气法、小肠放射照相法和全肠转运闪烁扫描(whole-gut transit scintigraphy, WGTS)。ADM 法是将一根沿长度分布了 6~8 个压力传感器的导管经鼻插入^[16],不仅检测时间长,而且患者耐受性差。小肠放射照相法和全肠转运闪烁扫描则具有放射性,且与呼气法一样,测量时间较长。有关 ADM 与无线动力胶囊检测效能的研究显示,以 ADM 检测为标准,无线动力胶囊检测到了 86% 的Ⅲ期 MMC 事件,无线动力胶囊的阴性预测值为 99.9%^[17]。一项针对 10 例受试者的小型研究比较了无线动力胶囊和 WGTS 在评估 SBTT 方面的效能,结果表明,二者的测量结果相似^[18]。但是,上述研究均为小样本临床试验,需要进一步在更大样本的临床人群试验中比较无线动力胶囊与 ADM 的效能,从而明确无线动力胶囊在 SBTT 检测方面的能力。并且,尚未发现将无线动力胶囊应用于假性梗阻等小肠疾病检测的研究。

3. 无线动力胶囊在结肠运动功能障碍患者中的应用:便秘是普通人群中高发的结肠运动功能障碍性疾病,表现为排便次数减少、粪便干硬和(或)排便困难。我国一般人群便秘的患病率为 8.2%,且随着年龄增长而升高,饮食结构、生活节奏、年龄以及社会心理因素等都会影响慢性便秘的患病情况^[19]。为明确以便秘为主的结肠运动功能障碍性疾病的诊断与分类,需测量 CTT 加以判断。常用的 CTT 测量方法为不透射线标记(radio-opaque marker, ROM)法,通过 X 射线重复拍摄被不透射线标记的钡条测量 CTT,这也有助于区分正常运输性便秘和慢运输性便秘^[20]。Camilleri 等^[21]比较了 ROM 和无线动力胶囊测量的 158 例受试者的 CTT,发现二者对延迟转运的阳性诊断一致率约为 0.80,正常转运的阴性一致率为 0.91,总体一致率为 0.91。虽然 ROM 操作简单、成本低廉且易于管理,但 ROM 使受试者暴露于大剂量的辐射下,需要每 30 分钟成像 1 次,持续 8 h,并且缺乏测标准化结果^[22]。

4. 无线动力胶囊在多区域胃肠运动功能障碍患者中的应用:通常情况下,胃肠道运动功能障碍的发生并不是孤立的,大部分都是涉及多部位的^[23],此类患者的 WGTT 明显延迟。Maqbool 等^[18]比较了 WGTS 和无线动力胶囊测量的 WGTT,发现 WGTS 测量所得 WGTT 比无线动力胶囊测量所得 WGTT 长得多,这与二者测量 WGTT 的原理不同相关:WGTS 测量的是放射性标记标准餐经受试者进食后直至放射性元素全部排出体外的时间,而无线动力胶囊测量的是无线动力胶囊经受试者吞咽后无线动力胶囊通过全肠的时间。尽管如此, WGTS 与无线动力胶囊测量所得 WGTT 之间依旧存在良好的相关性($r=0.79, P=0.01$)。为了进一步确定

多区域胃肠道运动障碍患者具体异常部位,Arora 等^[24]利用无线动力胶囊测量了 161 例可疑多区域胃肠道运动障碍患者的胃肠转运时间,其中 109 例患者的无线动力胶囊检测结果提示异常(17 例胃排空障碍、13 例小肠转运障碍、25 例结肠转运障碍,54 例患者被诊断为多区域胃肠道运动障碍),提示无线动力胶囊能够对整个胃肠道的运动提供综合评价。

5. 无线动力胶囊在其他疾病中的应用:除了提供全胃肠道的生理信息外,无线动力胶囊还被证实可以在其他疾病的诊治方面发挥作用。慢性腹胀可能与潜在的胃轻瘫、小肠细菌过度生长和结肠惰性相关。一项纳入了 52 例存在慢性腹胀患者的研究发现,11.5% 的患者表现出胃轻瘫,7.7% 存在小肠运动障碍,15.8% 存在结肠运动障碍,3.8% 合并胃和小肠运动障碍,5.6% 合并胃和结肠运动障碍,3.8% 合并小肠和结肠运动障碍,而 5.6% 的患者表现出 WGTT 的延长,提示无线动力胶囊和呼气试验可用于评估腹胀患者胃肠道转运障碍的具体位置^[25]。胃食管反流病和胃酸分泌过多的患者对抑酸治疗反应良好,但是目前缺乏非侵入的可重复胃酸测量工具。Weinstein 等^[26]对 20 例健康受试者使用了鼻导管常规测量胃酸分泌,并对其中的 12 例受试者使用无线动力胶囊测量,结果证实无线动力胶囊能够定量测量健康受试者的胃酸分泌量,促进胃食管反流病和其他胃酸分泌障碍的研究和临床管理。虽然克罗恩病不是无线动力胶囊的绝对禁忌证,但是有关克罗恩病患者胃肠道的生理数据很少。针对可疑克罗恩病的患者,是否可以行无线动力胶囊检测是值得探讨的问题。一项纳入了 12 例可疑克罗恩病患者的研究发现,在事先使用常规胶囊的情况下,无线动力胶囊可用来评估可疑克罗恩病患者的小肠转运情况^[27]。目前,无线动力胶囊的压力测量功能尚未得到广泛的临床应用,Farmer 等^[28]描述了无线动力胶囊测量的运动性/收缩性参数的规范值,以此评估胃肠道的收缩活动,并用于诊断内脏肌病等收缩异常疾病。无线动力胶囊还可通过连续记录小肠的 pH 值和图像,研究小肠疾病与小肠 pH 值之间的关系^[29]。

三、无线动力胶囊的适应证与禁忌证

目前,公认的无线动力胶囊的临床适应证如下^[30]:(1)在可疑胃轻瘫或存在可疑上消化道运动障碍症状的患者中评估胃排空(部分或整个胃肠道转运)的情况;(2)评估小肠转运的情况,从广泛胃肠动力障碍中区分出存在的小肠动力障碍;(3)评估慢性便秘患者的结肠转运情况;(4)测量整个胃肠道的 pH 值、温度和压力,描绘胃窦和十二指肠的压力曲线^[2]。

无线动力胶囊亦可评估老人和儿童的胃肠道运动障碍^[31-32]。除此之外,因罹患某些特殊疾病(如脊髓损伤^[33]、囊性纤维化^[34]、危重创伤患者^[35]、帕金森病^[36]、全身麻醉手术术后患者^[37]等)而导致胃肠运动功能受损的患者,以及胃刺激器、膀胱刺激器、脊柱刺激器和药物输液泵(胰岛素泵、连续血糖检测仪等)置入者均可接受无线动力胶囊检测^[38]。

无线动力胶囊不适用于存在吞咽困难、胃石症病史、胃肠道可疑或已知狭窄或瘘管、克罗恩病、憩室炎、胃肠道手术或 3 个月内接受过腹部或盆腔手术的患者。在无线动力胶囊技术研发的试验阶段,患者吞咽失败的发生率约为 0.6%,故障发生率为 0.8%~0.9%^[39]。胶囊滞留是无线动力胶囊最常见的并发症之一,被定义为吞咽胶囊后 5 d 未排出。无线动力胶囊需要干预的胶囊滞留率约为 0.01%^[40],对于上消化道胶囊滞留的病例,可予促动力剂促排,若促动力剂无效,需行上消化道内镜取出胶囊;而对于下消化道胶囊滞留的病例,可予促动力剂和泻药治疗。无线动力胶囊需要通过无线电将采集到的数据向接收器传输,因此,无线动力胶囊禁用于心脏起搏器或除颤器置入状态的患者。目前,无线动力胶囊未被批准用于儿童,仅限于该人群的临床试验。

四、无线动力胶囊的局限性及展望

无线动力胶囊是一种无创、无辐射、非侵入的通过检测胃肠道生理数据,从而测量 GET、SBTT、CTT 以及 WGTT 的可摄入设备。无线动力胶囊已被证实与传统的放射性标记和照相以及呼气试验测量的结果具有可比性,因此无线动力胶囊是可疑胃轻瘫、小肠转运障碍以及结肠转运障碍检测的替代方案,尤其是对于可疑多区域或全胃肠道运动障碍的患者而言。但是无线动力胶囊的压力传感器仅适用于单点压力的检测,无法检测压力波前后的压力变化。并且,无线动力胶囊无法区分液体食物和固体食物排空的时间,只能确定总膳食排空的时间,排空闪烁扫描在这一点上能够提供更接近于生理状态的测量结果。同时,作为不可消化的固体物质,无线动力胶囊无法用于可疑狭窄、瘘管或阻塞的患者,其余存在吞咽困难、克罗恩病或近期接受过胃肠道手术的患者也需谨慎使用。除此之外,胃肠道运动障碍的症状如恶心呕吐、腹胀、腹痛等与无线动力胶囊的测量结果几乎没有关联^[41]。目前无线动力胶囊系统尚未标准化,Wang 等^[42]的研究发现,无线动力胶囊测量的区域胃肠道转运时间和 pH 值因受试者的性别、年龄、国籍和居住地而不同。如何进一步拓宽无线动力胶囊检测压力参数的应用范围、提升无线动力胶囊对胃肠道运动功能障碍性疾病的诊断价值、构建不同人群的胃肠道生理参数标准等,将是无线动力胶囊相关研究未来发展的方向。

利益冲突 所有作者声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Stanghellini V, Chan FK, Hasler WL, et al. Gastrointestinal Disorders[J]. *Gastroenterology*, 2016, 150(6): 1380-1392. DOI: 10.1053/j.gastro.2016.02.011.
- [2] FDA. Smartpill GI Monitoring System, version 2.0. Premarket notification[EB/OL]. (2009-10-30) [2023-10-06]. <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfpmn/pmn.cfm?ID=K092342>.
- [3] Cassilly D, Kantor S, Knight LC, et al. Gastric emptying of a

- non-digestible solid: assessment with simultaneous SmartPill pH and pressure capsule, antroduodenal manometry, gastric emptying scintigraphy[J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2008, 20(4):311-319. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2007.01061.x.
- [4] Kloetzer L, Chey WD, McCallum RW, et al. Motility of the antroduodenum in healthy and gastroparetics characterized by wireless motility capsule[J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2010, 22(5): 527-533, e117. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2010.01468.x.
 - [5] Mojaverian P, Ferguson RK, Vlasses PH, et al. Estimation of gastric residence time of the Heidelberg capsule in humans: effect of varying food composition[J]. *Gastroenterology*, 1985, 89(2):392-397. DOI: 10.1016/0016-5085(85)90342-7.
 - [6] Lee YY, Erdogan A, Rao SS. How to assess regional and whole gut transit time with wireless motility capsule[J]. *J Neurogastroenterol Motil*, 2014, 20(2):265-270. DOI: 10.5056/jnm.2014.20.2.265.
 - [7] Farmer AD, Scott SM, Hobson AR. Gastrointestinal motility revisited: the wireless motility capsule[J]. *United European Gastroenterol J*, 2013, 1(6): 413-421. DOI: 10.1177/2050640613510161.
 - [8] Hasler WL. Gastroparesis: pathogenesis, diagnosis and management[J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2011, 8(8): 438-453. DOI: 10.1038/nrgastro.2011.116.
 - [9] Jung HK, Choung RS, Locke GR, et al. The incidence, prevalence, and outcomes of patients with gastroparesis in Olmsted County, Minnesota, from 1996 to 2006[J]. *Gastroenterology*, 2009, 136(4): 1225-1233. DOI: 10.1053/j.gastro.2008.12.047.
 - [10] Moshiree B, Potter M, Talley NJ. Epidemiology and pathophysiology of gastroparesis[J]. *Gastrointest Endosc Clin N Am*, 2019, 29(1):1-14. DOI: 10.1016/j.giec.2018.08.010.
 - [11] Farmer AD, Bruckner-Holt C, Schwartz S, et al. Diabetic gastroparesis: perspectives from a patient and health care providers[J]. *J Patient Cent Res Rev*, 2019, 6(2):148-157. DOI: 10.17294/2330-0698.1689.
 - [12] Zarate N, Mohammed SD, O'Shaughnessy E, et al. Accurate localization of a fall in pH within the ileocecal region: validation using a dual-scintigraphic technique[J]. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 2010, 299(6):G1276-1286. DOI: 10.1152/ajpgi.00127.2010.
 - [13] Parkman HP. Assessment of gastric emptying and small-bowel motility: scintigraphy, breath tests, manometry, and SmartPill [J]. *Gastrointest Endosc Clin N Am*, 2009, 19(1): 49-55, vi. DOI: 10.1016/j.giec.2008.12.003.
 - [14] Kuo B, McCallum RW, Koch KL, et al. Comparison of gastric emptying of a nondigestible capsule to a radio-labelled meal in healthy and gastroparetic subjects[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2008, 27(2): 186-196. DOI: 10.1111/j.1365-2036.2007.03564.x.
 - [15] Soffer EE. Small Bowel Dysmotility[J]. *Curr Treat Options Gastroenterol*, 1998, 1(1): 8-14. DOI: 10.1007/s11938-998-0002-1.
 - [16] Byrne KG, Quigley EM. Antroduodenal manometry: an evaluation of an emerging methodology[J]. *Dig Dis*, 1997, 15 Suppl 1:53-63. DOI: 10.1159/000171621.
 - [17] Brun R, Michalek W, Surjanhata BC, et al. Comparative analysis of phase III migrating motor complexes in stomach and small bowel using wireless motility capsule and antroduodenal manometry[J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2012, 24(4):332. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2011.01862.x.
 - [18] Maqbool S, Parkman HP, Friedenberg FK. Wireless capsule motility: comparison of the SmartPill GI monitoring system with scintigraphy for measuring whole gut transit[J]. *Dig Dis Sci*, 2009, 54(10): 2167-2174. DOI: 10.1007/s10620-009-0899-9.
 - [19] Chu H, Zhong L, Li H, et al. Epidemiology characteristics of constipation for general population, pediatric population, and elderly population in China[J]. *Gastroenterol Res Pract*, 2014, 2014:532734. DOI: 10.1155/2014/532734.
 - [20] Rao SS, Go JT. Update on the management of constipation in the elderly: new treatment options[J]. *Clin Interv Aging*, 2010, 5:163-171. DOI: 10.2147/cia.s8100.
 - [21] Camilleri M, Thorne NK, Ringel Y, et al. Wireless pH-motility capsule for colonic transit: prospective comparison with radiopaque markers in chronic constipation[J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2010, 22(8): 874-882, e233. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2010.01517.x.
 - [22] Szarka LA, Camilleri M. Methods for the assessment of small-bowel and colonic transit[J]. *Semin Nucl Med*, 2012, 42(2):113-123. DOI: 10.1053/j.semnucmed.2011.10.004.
 - [23] Hasler WL, Saad RJ, Rao SS, et al. Heightened colon motor activity measured by a wireless capsule in patients with constipation: relation to colon transit and IBS[J]. *Am J Physiol Gastrointest Liver Physiol*, 2009, 297(6): G1107-1114. DOI: 10.1152/ajpgi.00136.2009.
 - [24] Arora Z, Parungao JM, Lopez R, et al. Clinical utility of wireless motility capsule in patients with suspected multiregional gastrointestinal dysmotility[J]. *Dig Dis Sci*, 2015, 60(5):1350-1357. DOI: 10.1007/s10620-014-3431-9.
 - [25] Triadafilopoulos G. Utility of wireless motility capsule and lactulose breath testing in the evaluation of patients with chronic functional bloating[J]. *BMJ Open Gastroenterol*, 2016, 3(1):e000110. DOI: 10.1136/bmjgast-2016-000110.
 - [26] Weinstein DH, deRijke S, Chow CC, et al. A new method for determining gastric acid output using a wireless pH-sensing capsule[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2013, 37(12):1198-1209. DOI: 10.1111/apt.12325.
 - [27] Yung D, Douglas S, Hobson AR, et al. Morpho-functional evaluation of small bowel using wireless motility capsule and video capsule endoscopy in patients with known or suspected Crohn's disease: pilot study[J]. *Endosc Int Open*, 2016, 4(4): E480-486. DOI: 10.1055/s-0042-100718.
 - [28] Farmer AD, Wegeberg AL, Brock B, et al. Regional gastrointestinal contractility parameters using the wireless motility capsule: inter-observer reproducibility and influence of age, gender and study country[J]. *Aliment Pharmacol Ther*, 2018, 47(3):391-400. DOI: 10.1111/apt.14438.
 - [29] Iida H, Endo H, Sekino Y, et al. A new non-invasive modality for recording sequential images and the pH of the small bowel [J]. *Hepatogastroenterology*, 2012, 59(114): 413-414. DOI: 10.5754/hge11394.
 - [30] Rao SS, Camilleri M, Hasler WL, et al. Evaluation of gastrointestinal transit in clinical practice: position paper of the American and European Neurogastroenterology and Motility Societies[J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2011, 23(1): 8-23. DOI: 10.1111/j.1365-2982.2010.01612.x.
 - [31] Rodriguez L, Heinz N, Colliard K, et al. Diagnostic and clinical utility of the wireless motility capsule in children: a study in patients with functional gastrointestinal disorders[J]. *Neurogastroenterol Motil*, 2021, 33(4): e14032. DOI: 10.1111/nmo.14032.

- [32] Green AD, Belkind-Gerson J, Surjanhata BC, et al. Wireless motility capsule test in children with upper gastrointestinal symptoms[J]. J Pediatr, 2013, 162(6): 1181-1187. DOI: 10.1016/j.jpeds.2012.11.040.
- [33] Williams RE, Bauman WA, Spungen AM, et al. SmartPill technology provides safe and effective assessment of gastrointestinal function in persons with spinal cord injury[J]. Spinal Cord, 2012, 50(1):81-84. DOI: 10.1038/sc.2011.92.
- [34] Gelfond D, Ma C, Semler J, et al. Intestinal pH and gastrointestinal transit profiles in cystic fibrosis patients measured by wireless motility capsule[J]. Dig Dis Sci, 2013, 58(8):2275-2281. DOI: 10.1007/s10620-012-2209-1.
- [35] Rauch S, Krueger K, Turan A, et al. Use of wireless motility capsule to determine gastric emptying and small intestinal transit times in critically ill trauma patients[J]. J Crit Care, 2012, 27(5):534.e7-12. DOI: 10.1016/j.jcrc.2011.12.002.
- [36] Su A, Gandhi R, Barlow C, et al. Utility of the wireless motility capsule and lactulose breath testing in the evaluation of patients with Parkinson's disease who present with functional gastrointestinal symptoms[J]. BMJ Open Gastroenterol, 2017, 4(1): e000132. DOI: 10.1136/bmjgast-2017-000132.
- [37] van Beekum CJ, Esmann A, Heinze F, et al. Safety and suitability of the SmartPill® after abdominal surgery: results of the prospective, two-armed, open-label PIDuSA trial[J]. Eur Surg Res, 2021, 62(2):88-96. DOI: 10.1159/000515736.
- [38] Saad RJ. The wireless motility capsule: a one-stop shop for the evaluation of GI motility disorders[J]. Curr Gastroenterol Rep, 2016, 18(3):14. DOI: 10.1007/s11894-016-0489-x.
- [39] Saad RJ, Hasler WL. A technical review and clinical assessment of the wireless motility capsule[J]. Gastroenterol Hepatol (N Y), 2011, 7(12):795-804.
- [40] Hasler WL. The use of SmartPill for gastric monitoring[J]. Expert Rev Gastroenterol Hepatol, 2014, 8(6): 587-600. DOI: 10.1586/17474124.2014.922869.
- [41] Hasler WL, May KP, Wilson LA, et al. Relating gastric scintigraphy and symptoms to motility capsule transit and pressure findings in suspected gastroparesis[J]. Neurogastroenterol Motil, 2018, 30(2). DOI:10.1111/nmo.13196.
- [42] Wang YT, Mohammed SD, Farmer AD, et al. Regional gastrointestinal transit and pH studied in 215 healthy volunteers using the wireless motility capsule: influence of age, gender, study country and testing protocol[J]. Aliment Pharmacol Ther, 2015, 42(6):761-772. DOI:10.1111/apt.13329.

内镜治疗感染性胰腺坏死术后并发症的研究进展

刘晓蝶¹ 杨建锋²

¹浙江中医药大学第四临床医学院, 杭州 310000; ²杭州市第一人民医院消化内科 浙江省中西医结合胆胰疾病重点实验室, 杭州 310006

通信作者: 杨建锋, Email: yjf3303@zju.edu.cn

【提要】 感染性胰腺坏死是重症急性胰腺炎的严重并发症, 危及患者生命, 多见于病程后期。以内镜下引流术和坏死组织清创术为代表的微创干预是临床治疗感染性胰腺坏死的一线方案, 但相关不良事件发生率高, 如何预防及高效处理并发症亟待解决。本文就内镜治疗感染性胰腺坏死的相关并发症以及干预措施作一综述。

【关键词】 手术后并发症; 感染性胰腺坏死; 内镜治疗; 干预措施

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目 (2021ZH003, 2021441076); 杭州市科技发展计划项目 (202004A14); 杭州市医学重点学科 (0020190001)

Research progress in complications of endoscopic treatment for infected pancreatic necrosis

Liu Xiaodie¹, Yang Jianfeng²

¹The Fourth Clinical Medical College of Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310000, China;

²Department of Gastroenterology, Hangzhou First People's Hospital; Zhejiang Key Laboratory of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine for Biliary and Pancreatic Diseases, Hangzhou 310006, China

Corresponding author: Yang Jianfeng, Email: yjf3303@zju.edu.cn

DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20230220-00453

收稿日期 2023-02-20 本文编辑 许文立 唐涌进

引用本文: 刘晓蝶, 杨建锋. 内镜治疗感染性胰腺坏死术后并发症的研究进展[J]. 中华消化内镜杂志, 2023, 40(12): 1036-1040. DOI: 10.3760/cma.j.cn321463-20230220-00453.

