

doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2019.13.042

• 技术与方法 •

磁导航技术辅助麦芒仿生鼻肠营养管的设计和初步实验研究*

杜妍莹^{1,2,3} 卢强^{1,3} 马锋¹ 吕毅^{1,3,Δ} 严小鹏^{1,3,Δ}

(1 西安交通大学第一附属医院 精准外科与再生医学国家地方联合工程研究中心 陕西 西安 710061;

2 西安交通大学医学部护理系 陕西 西安 710061; 3 西安交通大学第一附属医院肝胆外科 陕西 西安 710061)

摘要 目的:为解决现有液囊鼻肠营养管置管过程中漂浮时间长、成功率低的问题,设计了基于磁导航技术辅助的磁性麦芒仿生鼻肠营养管。**方法:**分析了麦芒在管腔内能够快速单向移动的力学原理,结合磁外科相关技术,提出了鼻肠管头端内嵌磁性麦芒仿生结构设计方案和磁导航技术辅助快速推进的操作方法,并在体内外模拟了其运动情况。**结果:**体外管路模拟实验提示麦芒仿生结构在外力作用下能够快速移动。家兔肠道实验显示,磁性麦芒仿生结构在导航磁体引导下,能够在肠道内快速单向移动。**结论:**磁性麦芒仿生结构在导航磁体的引导下能够实现消化道内快速单向移动,该设计进一步优化有望用于临床。

关键词:磁外科;磁导航技术;鼻空肠营养管;仿生

中图分类号:Q64; TH779; R459.3 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2019)13-2583-04

Design and Preliminary Experimental Study on Magnetic Navigation Technique Assisting Bionic Naso-enteral Nutrition Tube of Wheat Awns*

DU Yan-ying^{1,2,3}, LU Qiang^{1,3}, MA Feng¹, LV Yi^{1,3,Δ}, YAN Xiao-peng^{1,3,Δ}

(1 National Local Joint Engineering Research Center for Precision Surgery & Regenerative Medicine,

The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710061, China;

2 School of Nursing, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710061, China;

3 Department of Hepatobiliary Surgery, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shaanxi, 710061, China)

ABSTRACT Objective: In order to overcome the disadvantages of long floating time and low success rate in the course of tube placement, a magnetic bionic naso-intestinal nutrition tube of wheat awns based on magnetic navigation technique was designed. **Methods:** This paper analyzed the mechanics principle of wheat awns moving rapidly and unidirectionally in the lumen. Combined with the related technology of magnetic surgery, the design scheme of magnetic wheat awns bionic structure at the head end of nose and intestine tube and the operation method assisted by magnetic navigation technique are put forward. The motion was simulated in vivo and in vitro. **Results:** In vitro tube simulation experiments showed that the bionic structure of wheat awns could move rapidly under external force. The intestinal tract experiments in rabbits suggest that the magnetic wheat awns bionic structure can move rapidly in the intestinal tract under the guidance of the navigation magnet. **Conclusion:** The magnetic wheat awns bionic structure can realize the fast-single movement in the digestive tract under the guidance of the navigation magnet. This design is expected to be further optimized for clinical use.

Key words: Magnetic surgery; Magnetic navigation technique; Naso-enteral nutrition tube; Bionic

Chinese Library Classification (CLC): Q64; TH779; R459.3 **Document code:** A

Article ID:1673-6273(2019)13-2583-04

前言

美国肠外及肠内营养协会 (the American Society for Parenteral and Enteral Nutrition, ASPEN) 2016 版肠内营养指南提出,推荐不能经口进食的重症患者在 24~48 h 内开始早期肠内营养,建议需要营养支持治疗的重症病人首选肠内营养^[1]。研究

表明,早期肠内营养对肠黏膜结构和功能完整性有积极的影响,能促进碳水化合物的吸收,但危重病人给予肠内营养支持常较困难^[2]。国内外对重症监护患者肠内营养的系统评价显示,与鼻胃管相比,鼻肠管能显著降低呼吸机相关性肺炎的发生率,有效避免误吸等不良事件的发生,缩短机械通气时间和入住 ICU 的天数,是目前 ICU 普遍采用的肠内营养途径^[3-5]。鼻肠

* 基金项目:国家自然科学基金项目(81700545,81470896);中央高校基本科研业务费专项资金项目(xjj2018jchz14);

陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2017JQ8021)

作者简介:杜妍莹(1993-),女,硕士研究生,E-mail: 1064264062@qq.com

Δ 通讯作者:吕毅(1963-),男,博士生导师,教授,主要研究方向:磁外科、肝移植、再生医学、医学教育,E-mail: luyi169@126.com

严小鹏(1984-),男,博士,副研究员,研究方向:磁外科、肝移植、再生医学,E-mail: yanxiaopeng99@163.com

(收稿日期:2018-12-30 接受日期:2019-01-25)

管对重症患者的肠内营养效果优于鼻胃管,尤其适用患有胰腺炎和神经系统疾病以及老年患者等,但是鼻肠管的留置难度大,成功率明显低于鼻胃管。

鼻肠管常见置管方法包括床旁盲插法、内镜下引导法和成像技术下置入法^[6]。床旁盲插法操作简单,易开展,但置管成功率较低,为此人们设计了多种类型的鼻肠管来提高置管成功率,临床常见的鼻肠管类型主要有螺旋型鼻肠管、液囊空肠导管、重力头鼻肠管等。上述类型鼻肠管都是通过对鼻肠管的头端结构进行改造以期借助重力、胃肠蠕动力来提高成功率,然而在实际应用中其成功率仍较低,且等待时间长,仍有大部分患者鼻肠管头端无法进入空肠。内镜引导下可大大提高置管成功率,缩短置管时间,但置管中并发症风险高,患者不适感明显,且受医疗条件限制。B超或X线监测下置入,只能帮助操作者判断鼻肠管的位置,并不能有效掌控鼻肠管的运动。所以,探索改进鼻肠管的结构设计,缩短鼻肠管置管时间、提高成功率在临床上有重要意义。

磁外科(magnetic surgery, MS)利用“非接触性”磁场力的特点,创新了诸多临床新技术,目前已初步形成了以磁压榨技术(magnetic compression technique, MCT)、磁锚定技术(magnetic anchor technique, MAT)、磁导航技术(magnetic navigation technique, MNT)、磁悬浮技术(magnetic levitation technique, MLT)、磁示踪技术(magnetic tracer technique, MTT)为核心的临床应用体系^[7]。磁外科相关技术已用于血管吻合^[8-11]、消化道吻合^[12-15]、直肠阴道瘘修补^[16-18]、医疗器械研发^[19,20]等领域。其中,磁导航技术(MNT)是利用体外磁场牵引带动体内的响应磁体或顺磁性物质沿预设的移动路径达到目标位置的技术^[7]。MNT目前的研究主要包括磁导航下组织活检^[21]、心内导管消融和胃肠道胶囊内镜检查^[22]等。我们早期实验中证实了利用磁导航技术可以对带有磁头的鼻肠管在体内进行引导牵拉的可行性^[23],但牵拉导航效率偏低。为此,我们进行改进,提出了基于磁导航技术的麦芒仿生结构鼻肠营养管的设计方案,并进行了初步实验研究,现报道如下。

1 材料与方法

1.1 麦穗单向移动力学分析

生活经验提示成熟麦穗附着于皮毛或织物时在外力抖动的作用下表现出明显的单向快速运动轨迹。分析麦穗结构发现其整体外观呈箭头状,在以麦粒为轴线的四周拥有与轴线成一定角度的诸多麦芒,显微观察发现每一根麦芒上又有无数倒刺状的纤维结构。麦芒的物理特性是具备良好的弹性和韧性。麦芒的物理形状决定了麦芒的单向运动特性,在外力作用下麦芒弯曲,外力撤除后麦芒恢复原始形状,产生反弹力,从而推动麦穗移动。麦芒如此反复受力、形变、回弹,从给将外力转化为麦穗单向运动的驱动力。将成熟麦穗放置于塑料软管的一端,给管子施加上下和(或)左右的抖动力,可见麦穗迅速单向运动至塑料管另一端(图1)。基于此,我们设计了头端带有磁性仿麦芒结构的鼻肠管,同时辅以体外导航磁体的牵引导航,以期在胃肠道内实现单向快速推进,以克服现有鼻肠管所存在的漂浮时间长、置管成功率低的弊端。

1.2 结构设计

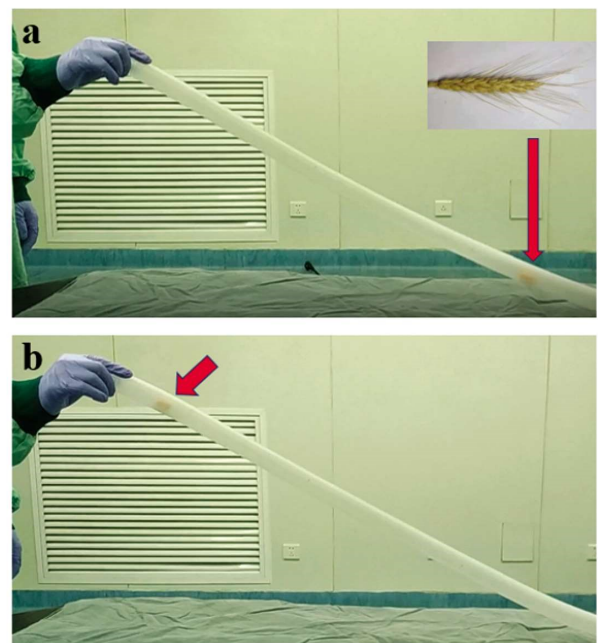


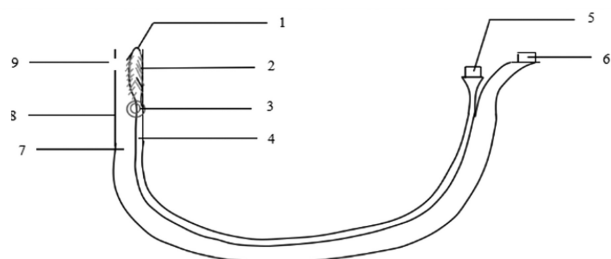
图1 麦穗管道内单向运动实验

Fig.1 One-way movement experiment of the wheat awns in tube

麦芒仿生鼻肠营养管包含头端的磁性麦芒仿生结构和管体两部分。头端的磁性麦芒仿生结构包括复合材料1、仿生麦芒2和磁性材料3三部分。其中磁性材料3可以为软磁也可永为永磁材料。复合材料1由高分子材料制备,其主要作用是作为磁性材料和仿生麦芒的载体和连接体。仿生麦芒2可采用聚氨酯、聚酯纤维、可降解材料(PGA/PLGA)等医用高分子材料制成。仿生麦芒2一端固定于复合材料上,自头端向尾端方向成一定角度发散状排列,形同麦穗。仿生麦芒直径0.5 mm,长度4.5 cm,发散状排列后尾端直径范围3.5 cm。管体由硅胶等高分子材料加工而成,包括营养管本体8和通气管路4两部分,营养管本体8为肠内营养制剂的通道,前端有2-3个侧孔,磁性麦芒仿生结构藏匿于营养管本体8最前端的侧孔9内,7为鼻肠管管腔,6为鼻肠管接头。通气管路4位于营养管本体8侧壁上,通气管路4头端与复合材料1相通,尾端有接头5,当通过接头5向通气管路4内注射气体时,磁性麦芒仿生结构膨胀并从主管路的侧孔内释放出来。如图2、图3所示。

2 结果

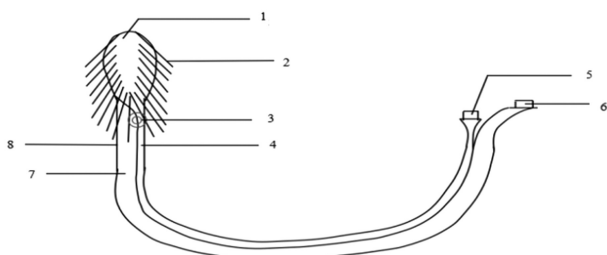
使用实例:操作时,床旁按常规鼻肠管置入方法操作,鼻肠管头端进入胃腔后,经通气管路接头注入适量空气,鼻肠管头端的磁性麦芒仿生结构即可从鼻肠管头端的侧孔内释放出来。然后将导航磁体置于患者左上腹部,使导航磁体与鼻肠管头端的磁性麦芒仿生结构内的磁性材料相吸,按胃肠道走行在腹部反复滑行移动,使鼻肠管管体在导航磁体和仿麦芒结构产生的驱动力作用下快速进入空肠,如图4所示。当到达位置后经通气管路接头回抽空气,磁性麦芒仿生结构即可退回鼻肠管头端的腔内。此时,即可经鼻肠管接头输注肠内营养制剂。图5a所示为模拟制备的磁性麦芒仿生结构单元,图5b和5c所示为磁性麦芒仿生结构单元在导航磁体引导下能够家兔肠道内快速单向移动。



- | | | |
|--|---------------------|---|
| 1: 复合材料 | 2: 仿生麦芒 | 3: 磁性材料 |
| 4: 通气管路 | 5: 接头 | 6: 鼻肠管接头 |
| 7: 鼻肠管管腔 | 8: 营养管本体 | 9: 侧孔 |
| 1: composite material | 2: bionic wheat awn | 3: magnetic material |
| 4: gas channel | 5: connector | 6: naso-intestinal nutrition tube junction head |
| 7: naso-intestinal nutrition tube catheter | 8: tube body | 9: side hole |

图2 麦芒仿生鼻肠营养管结构示意图(磁性麦芒仿生结构未释放状态)

Fig.2 Schematic diagram of bionic naso-intestinal nutrition tube of wheat awns (magnetic wheat awns bionic structure not released)



- | | | |
|--|---------------------|---|
| 1: 复合材料 | 2: 仿生麦芒 | 3: 磁性材料 |
| 4: 通气管路 | 5: 接头 | 6: 鼻肠管接头 |
| 7: 鼻肠管管腔 | 8: 营养管本体 | |
| 1: composite material | 2: bionic wheat awn | 3: magnetic material |
| 4: gas channel | 5: connector | 6: naso-intestinal nutrition tube junction head |
| 7: naso-intestinal nutrition tube catheter | 8: tube body | |

图3 麦芒仿生鼻肠营养管结构示意图(磁性麦芒仿生结构释放状态)

Fig.3 Schematic diagram of bionic naso-intestinal nutrition tube of wheat awns (magnetic wheat awns bionic structure released)

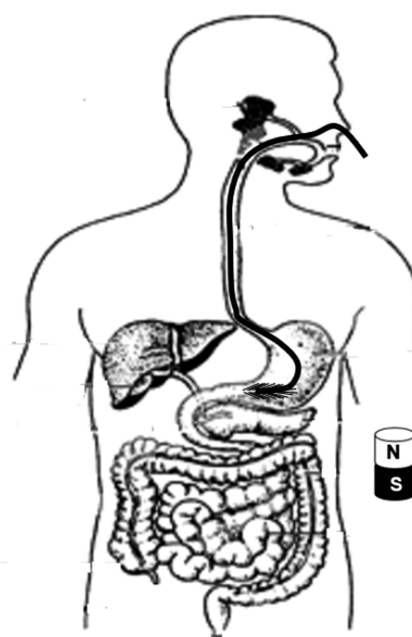


图4 磁导航技术辅助麦芒仿生鼻肠营养管留置操作示意图

Fig.4 Magnetic navigation technique assisting bionic naso-intestinal nutrition tube of wheat awns indwelling operation schematic diagram

3 讨论

危重症病人尽早恢复肠内营养,维持正常的肠道功能,保护肠道粘膜的屏障功能,减少肠道菌群移位已达成临床共识。但鼻肠营养管的置管困难却成了制约重症患者肠内营养治疗的首要难题。通过对鼻肠营养管的结构进行改进是解决方法之一。液囊空肠营养管主要依靠液囊的重力和胃肠道蠕动时对液囊的推进作用将营养管的头端带入到空肠,对于胃肠道蠕动功能正常的患者来说能够起到一定作用。然而重症患者往往存在胃肠道蠕动功能障碍,因此导致其头端很难短时间到达空肠,分析其原因在于驱动力单一。

覃碧琼报道称胃内注水法与常规方法相比可将鼻肠管一次置管成功率由 74%提高到 90%^[24],而李志湘则报道胃内注气法可将一次置管成功率由 86.6%提高至 93.33%^[25],这两种方法与常规方法相比虽有改进,但提升空间有限。鼻肠管置入过程中头端位置的动态监测可帮助操作人员及时调整置管方向,缩短置管时间、提高置管成功率。鼻肠管置管常用的监测方法有 B 超、内镜、电磁导航仪、X 线等^[26,27],借助这些监测方法可

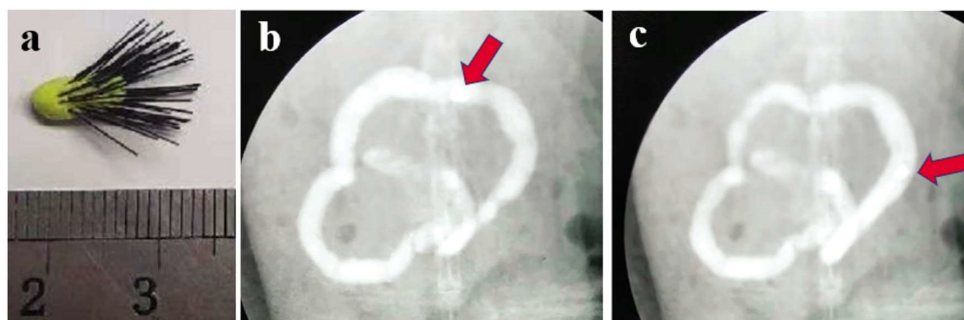


图5 磁性麦芒仿生结构单元在家兔肠道内模拟实验

Fig.5 Simulation experiment of magnetic wheat awns biomimetic structural unit in rabbit intestine

明确鼻肠管头端是否到达目标位置。但在鼻肠管置入过程中,始终缺乏有效的能够作用于导管头端的导航牵拉作用力。磁场力是一种特殊形式的“场力”,具有“隔物发力”的特点,我们前期的研究中初步尝试了磁力导航引导鼻肠管置入,具有可行性。本文基于前期设计基础,通过在鼻肠管头端加载麦芒仿生结构,以期实现提高磁力导航效率的目的。

磁性麦芒仿生结构在体外导航磁体引导下能够提供多个驱动力:① 磁性麦芒仿生结构本身的重力作用;② 胃肠道蠕动时对磁性麦芒仿生结构的推动力;③ 导航磁体对磁性麦芒仿生结构中磁性材料的牵引力;④ 导航磁体对磁性材料施加的力使仿生麦芒发生形变,在形变恢复过程中产生的单向驱动力。在这四种驱动力中后两个力发挥主要作用,也是现有鼻肠营养管无法实现的力。再者,仿生麦芒结构可始终保证单向运动,不会出现回退现象,这是该设计的优势所在。

本文的创新性在于将磁导航技术(MNT)与生物仿生学相结合,借助植物界常见但又具有特殊结构的麦芒,充分发挥其单向运动的特点,可大大提高磁导航效率。该设计符合力学基本原理,初步动物实验已经证实导航磁体辅助下能够带动磁性麦芒仿生结构的快速移动。通过进一步优化加工工艺,磁导航技术辅助麦芒仿生鼻肠营养管有望进一步提高临床重症患者鼻肠管置管成功率、缩短置管时间。

参考文献(References)

- [1] Taylor B E, McClave S A, Martindale R G, et al. Guidelines for the provision and assessment of nutrition support therapy in the adult critically ill patient: Society of Critical Care Medicine and American Society for Parenteral and Enteral Nutrition [J]. Crit Care Med, 2016, 44(7): 390-438
- [2] Huynh D, Nguyen N Q. Intestinal Absorption and Enteral Nutrition Support During Critical Illness[M]. Springer New York, 2015
- [3] Alkhawaja S, Martin C, Butler R J, et al. Post-pyloric versus gastric tube feeding for preventing pneumonia and improving nutritional outcomes in critically ill adults [J]. Cochrane Database of Systematic Reviews, 2015, 8(8): CD008875
- [4] Wang D, Zheng S Q, Chen X C, et al. Comparisons between small intestinal and gastric feeding in severe traumatic brain injury: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials [J]. Journal of Neurosurgery, 2015, 123(5): 1-8
- [5] 吴华炼,张霞,陈森,等.小肠内营养与胃内营养对呼吸机相关性肺炎影响的Meta分析[J].肠外与肠内营养, 2016, 23(1): 27-33
- [6] 郑亚华,王明霞,徐飞亚,等.老年危重症患者鼻肠管置管方法及并发症的护理新进展[J].护理与康复, 2018, 17(05): 31-33
- [7] 严小鹏,商澎,史爱华,等.磁外科学体系的探索与建立 [J]. 科学通报, 2018, 63. DOI: 10.1360/N972018-00638
- [8] Yan X, Fan C, Ma J, et al. Portacaval Shunt Established in Six Dogs Using Magnetic Compression Technique [J]. PLoS One, 2013, 8(9): e76873
- [9] Yan XP, Liu WY, Ma J, et al. Extrahepatic portacaval shunt via magnetic compression technique: a cadaveric feasibility study [J]. World J Gastroenterol, 2015, 21(26): 8073-8080
- [10] Wang HH, Ma J, Wang SP, et al. Magnetic anastomosis rings to create portacaval shunt in a canine model of portal hypertension [J]. J Gastrointest Surg, 2018. doi: 10.1007/s11605-018-3888-5. [Epub ahead of print]
- [11] 严小鹏,吕毅,马佳,等.基于磁压榨技术的介入下肝外门腔分流器械的研制[J].中国医疗器械杂志, 2013, 37(6): 421-422, 436
- [12] An Y, Zhang Y, Liu H, et al. Gastrojejunal anastomosis in rats using the magnetic compression technique[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 11620
- [13] Ma F, Ma J, Ma S, et al. A novel magnetic compression technique for small intestinal end-to-side anastomosis in rats [J]. J Pediatr Surg, 2018. doi: 10.1016/j.jpedsurg.2018.07.011. [Epub ahead of print]
- [14] Bai J, Huo X, Ma J, et al. Magnetic compression technique for colonic anastomosis in rats[J]. J Surg Res, 2018, 231: 24-29
- [15] 严小鹏,任冯刚,杨桓,等.基于磁压榨技术的内镜下胃十二指肠旁路吻合装置[J].中华消化内镜杂志, 2015, 32(8): 567-568
- [16] 严小鹏,高燕凤,邹余粮,等.基于磁压榨技术的直肠阴道瘘一期修补装置[J].生物医学工程学杂志, 2015, 32(5): 1096-1099
- [17] Yan XP, Zou YL, She ZF, et al. Magnet compression technique: a novel method for rectovaginal fistula repair [J]. Int J Colorectal Dis, 2016, 31: 937-938
- [18] 付珊,马佳,赵广宾,等.磁压榨直肠阴道瘘缝合修补装置的改良设计[J].中国医疗设备, 2018, 33(04): 46-49
- [19] 马丽娜,白纪刚,刘学民,等.基于磁锚定系统的电磁控制腹腔镜手术内置抓钳离合系统的设计[J].中国医疗器械杂志, 2018, 42(4): 250-252
- [20] 田波彦,马佳,刘豪,等.磁控腹腔镜手术内置抓钳离合系统的设计[J].中国医疗设备, 2018, 33(8): 70-73
- [21] Wallace MJ, Gupta S, Hicks ME. Out-of-plane computed-tomography-guided biopsy using a magnetic-field-based navigation system[J]. Cardiovasc Intervent Radiol, 2006, 29(1): 108-113
- [22] Carpi F, Pappone C. Stereotaxis Niobe magnetic navigation system for endocardial catheter ablation and gastrointestinal capsule endoscopy[J]. Expert Rev Med Devices, 2009, 6(5): 487-498
- [23] 严小鹏,刘雯雁,马佳,等.基于磁导航技术的磁性空肠营养管设计[J].现代仪器与医疗, 2015, 21(03): 1-3
- [24] 章碧琼,韦新理,徐品贤,等.不同鼻空肠管置入法对行空肠营养支持治疗老年患者的影响[J].广西医学, 2018, 40(14): 1635-1636
- [25] 李志湘,李梅花,卢礼齐,等.床旁注气法鼻肠管盲插技术在重症患者中的应用[J].当代护士, 2018, 25(23): 117-118
- [26] Gerritsen A, van der Poel MJ, de Rooij T, et al. Systematic review on bedside electromagnetic-guided, endoscopic, and fluoroscopic placement of nasoenteral feeding tubes[J]. Gastrointest Endosc, 2015, 81(4): 836-847.e2
- [27] 曹建华,邓刚,纳涛,等.X线透视下放置鼻空肠营养管的操作技术及应用价值[J].宁夏医学杂志, 2014, 36(6): 488-490