

# 结肠电刺激的研究进展

郭晓娟, 姚树坤

郭晓娟, 姚树坤, 中日友好医院消化内科 北京市 100029  
郭晓娟, 主要从事胃肠功能与动力障碍性疾病的研究。  
国家自然科学基金资助项目, No. 81070299  
作者贡献分布: 本文综述由郭晓娟完成; 姚树坤审校。  
通讯作者: 姚树坤, 教授, 主任医师, 100029, 北京市朝阳区樱花  
东街2号, 中日友好医院消化内科. yao\_sk@163.com  
电话: 010-84205288  
收稿日期: 2013-09-24 修回日期: 2013-12-26  
接受日期: 2014-01-08 在线出版日期: 2014-02-28

## Advances in research of colonic electrical stimulation

Xiao-Juan Guo, Shu-Kun Yao

Xiao-Juan Guo, Shu-Kun Yao, Department of Gastroen-  
terology, China-Japan Friendship Hospital, Beijing 100029,  
China

Supported by: the National Natural Science Foundation of  
China, No. 81070299

Correspondence to: Shu-Kun Yao, Professor, Department  
of Gastroenterology, China-Japan Friendship Hospital, 2  
Yinghua East Road, Chaoyang District, Beijing 100029,  
China. yao\_sk@163.com

Received: 2013-09-24 Revised: 2013-12-26

Accepted: 2014-01-08 Published online: 2014-02-28

## Abstract

In recent years great attention has been paid to the study of colonic electrical stimulation. Colonic electrical stimulation is expected to become a valuable option for treatment of gastrointestinal dysfunction. This article reviews the classification, mechanisms and clinical applications of colonic electrical stimulation.

© 2014 Baishideng Publishing Group Co., Limited. All rights reserved.

Key Words: Colonic electrical stimulation; Gastrointestinal dysfunction; Mechanisms

Guo XJ, Yao SK. Advances in research of colonic electrical stimulation. *Shijie Huaren Xiaohua Zazhi* 2014; 22(6): 795-800 URL: <http://www.wjgnet.com/1009-3079/22/795.asp> DOI: <http://dx.doi.org/10.11569/wcjd.v22.i6.795>

## 摘要

近年来结肠电刺激的研究引起了广泛关注, 其

在胃肠功能紊乱性疾病方面的应用前景十分可观. 本文就结肠电刺激的分类和作用机制以及临床应用的研究成果进行综述.

© 2014年版权归百世登出版集团有限公司所有.

关键词: 结肠电刺激; 胃肠功能紊乱; 机制

**核心提示:** 近年来结肠电刺激的研究引起了广泛关注, 其在胃肠功能紊乱性疾病方面的应用前景十分可观. 本文就结肠电刺激的分类和作用机制以及临床应用的研究成果进行综述.

郭晓娟, 姚树坤. 结肠电刺激的研究进展. 世界华人消化杂志 2014; 22(6): 795-800 URL: <http://www.wjgnet.com/1009-3079/22/795.asp> DOI: <http://dx.doi.org/10.11569/wcjd.v22.i6.795>

## 0 引言

近年来, 关于电刺激治疗消化系功能障碍性疾病的研究取得了很大进展. 已有学者在消化系的不同部位尝试了多种电刺激方法, 取得了许多可喜成果, 应用前景非常可观<sup>[1-5]</sup>. 其基本原理是在胃肠道埋置电极, 应用导线与体外或埋置在体内的脉冲发生器连接, 通过发送脉冲信号, 调节胃肠道功能. 与传统手术相比, 该方法具有不改变胃肠道正常解剖结构, 手术风险小, 术后并发症少等优点<sup>[6-8]</sup>. 目前大多数研究集中在胃电刺激<sup>[9,10]</sup>. 如正向性胃电刺激可以加速胃排空, 治疗胃轻瘫<sup>[11]</sup>; 逆行性胃电刺激可以延缓胃排空, 增加胃容受性及顺应性, 应用于肥胖的治疗<sup>[12]</sup>. 近年来, 结肠电刺激也逐渐引起学者的关注<sup>[13]</sup>. 本文就结肠电刺激的研究做一综述.

## 1 结肠电活动

结肠电活动主要由慢波和快波组成. 慢波又称起搏电位(pacesetter potentials, PPs). 快波又称动作电位(action potentials, APs). 研究认为胃肠道慢波来源于Cajal间质细胞(interstitial cell of Cajal, ICC)<sup>[14]</sup>. ICCs是介于肠神经系统和平滑肌

## ■背景资料

关于电刺激治疗胃肠功能障碍性疾病的研究取得了很大进展. 本文就近年来结肠电刺激的研究做一综述.

## ■同行评议者

曾柱, 教授, 贵阳医学院基础医学院生物技术教研室

## ■研究前沿

结肠电刺激对肠运动功能的影响及其机制是目前研究的热点。多以急性实验为主,长期应用有待继续研究。

细胞之间的一类特殊的间质细胞,广泛分布在胃肠道的肌层和神经丛。在平滑肌层, ICCs可以产生自发性起搏活动,起搏和调节结肠慢波,进而影响平滑肌的收缩运动<sup>[15]</sup>,故又被称为胃肠道的起搏细胞。ICCs产生PPs,通过电信号传播至平滑肌细胞,通过电机械耦联方式参与结肠的多种运动形式。同时ICC对肠神经信号传递到平滑肌起到重要的中介作用,被称为是神经系统调控胃肠肌活动的中介, Shafik等<sup>[16,17]</sup>将黏膜记录电极放置在回肠末端、盲肠、升结肠、横结肠、降结肠、乙状结肠部位,记录包括频率、电流、电压在内的PPs及APs电活动,通过观察波形变化来推测结肠可能存在的起搏部位。结果表明,结肠至少存在4个起搏点,并推测其部位分别在回肠盲肠交界处、盲肠结肠交界处、横结肠中点、降结肠乙状结肠交界处。随后,该课题组进一步在健康人及结肠无力患者中,选取上述4个起搏点位置各放置1对黏膜电极及2-3对记录电极,采取刺激参数为波幅5 mA、波宽200 ms、比自发PPs高15%的频率进行刺激。结果发现,健康对照组的远侧记录电极记录到自发PPs的频率、波幅及速度在刺激后均较刺激前增加。结肠无力组在接受电刺激之后,也可以诱发出PPs<sup>[18]</sup>。由此可见,外源性电流可以影响起搏点的自发性电活动,进而影响胃肠道的功能。还有学者提出<sup>[19]</sup>肠腔内容物的推进运动很大程度上依赖于近端结肠的运动功能。Aellen等<sup>[20]</sup>实验也得出相似的结论。在结肠的不同部位,对电刺激反应较理想的是盲肠电刺激。同时,结肠电活动还受神经系统和体液因素的调节。

## 2 结肠电刺激方法

根据使用电极的数目不同,结肠电刺激分为(1)单导刺激:即应用一对电极进行刺激;大鼠单导结肠电刺激可以诱发结肠移行性复合运动(colonic migrating motor complexes, CMMCs), CMMCs会以刺激部位为中心,向两边扩散<sup>[21]</sup>。实验显示<sup>[22]</sup>,一对电极刺激结肠壁只能导致局部的结肠收缩,该收缩运动不能向邻近结肠传播。但也有实验证明单导刺激可以加快结肠运动,加速结肠排空<sup>[23,24]</sup>;(2)多导刺激:应用两对或多对电极进行刺激。多导刺激可以导致结肠传输加快<sup>[25-27]</sup>,但由于需要在肠壁放置多对电极,对结肠损伤较大。

根据电极植入位置的不同分为:(1)浆膜电极<sup>[25,26]</sup>:通过手术将电极埋置在结肠浆膜面,一

般达到肌层,但不穿透黏膜层;(2)黏膜电极<sup>[16,18]</sup>:电极植于结肠黏膜表面,可以借助内镜或插管放置,无需手术,损伤较小,但电极与黏膜难以长期接触,不适于长期应用。

根据电刺激的参数不同,可以分为3类:(1)长波宽电刺激<sup>[23-25]</sup>:脉冲宽度以ms为单位,一般采用10 ms以上的波宽,10-600 ms不等,如参数为波宽200 ms,频率50 Hz,电流10 mA;(2)短波宽电刺激<sup>[26,27]</sup>:脉冲宽度1 ms以下的刺激,也有学者把5 ms以下的波宽也归为短波刺激,如参数为波宽1 ms,电流15 mA,频率120 Hz;(3)串脉冲电刺激<sup>[24,28]</sup>:由重复的短脉冲串组成,频率在5-100 Hz之间的高频短脉冲间断发放(数秒开/数秒关),如波宽4 ms,电流10 mA,频率40 Hz,2 s开、3 s关。

## 3 结肠电刺激对肠运动功能的影响

3.1 长波宽电刺激 在一个纳入24例结肠无力患者及8例健康人对照的实验中,应用放置在直肠与乙状结肠交界处的一对黏膜电极刺激肠腔,发现应用波宽200 ms、波幅5 mA,高于直肠PPs 15%频率的参数刺激后,可以增加健康人PPs的波幅、频率及速度。同时发现电刺激同样可以诱发直肠无力患者的直肠产生PPs<sup>[29]</sup>。Sanmiguel等<sup>[25]</sup>通过地芬诺酯/阿托品和阿洛司琼在9只犬建立结肠慢传输模型,在远端结肠放置四对浆膜电极,给予波宽10 ms,电压8-10 V,频率50 Hz的参数进行刺激,结果发现,电刺激可以导致持续的结肠收缩,加速肠腔内容物的排空。在9例肠易激综合征(irritable bowel syndrome, IBS)患者的结肠与乙状结肠交界处的黏膜放置一对电极,给予波宽150 ms、波幅6 mA、高于PPs 25%的频率的电刺激,每日刺激2-3次,6 mo后发现,7例患者腹痛、腹胀症状消失,排便正常<sup>[23]</sup>。但也有实验报道<sup>[24]</sup>在大鼠距盲肠结肠交界处1 cm的结肠埋置一对浆膜电极,行长波宽长时程脉冲电刺激,给予波宽200 ms,波幅10 mA,频率20 cpm的刺激参数,与非刺激组相比,在结肠传输时间上的差异无统计学意义。

3.2 短波宽电刺激 有学者报道<sup>[26]</sup>在猪降结肠植入9个浆膜电极后,固定刺激频率和刺激时间,在波宽不变的情况下,随波幅的增加(9-15 mA),可以观察到肠腔内压力及肠壁的顺应性也增加。但是,30 mA的波幅与15 mA波幅引起的肠内压相似,并没有使肠腔内压进一步增大。同样,在波幅不变的情况下,随波宽的增加(0.03-3 ms),

可见收缩的潜伏期缩短, 收缩加快, 肠腔内压力增加. 通过连续刺激相邻结肠段, 可以使近端结肠团块以1 mm/s的传播速度向远端传输. 实验得出, 推进肠腔内容物运动的理想电刺激参数组合为15 mA, 3 ms, 10 Hz. Vaucher等<sup>[27]</sup>在12只猪盲肠放置浆膜电极, 给予为期6 d波宽1 ms, 频率120 Hz, 电压10 V的慢性刺激, 通过不透X线钽条检测结肠平均传输, 结果发现, 与对照组相比, 刺激组可以明显缩短钽条排出时间.

3.3 串脉冲电刺激 Amaris等<sup>[28]</sup>等在距犬肛门口15 cm处的降结肠依次放置4对浆膜电极, 给予波宽10 ms, 电压20 V, 频率50 Hz矩形串脉冲刺激, 可以观察到连续串脉冲电刺激显著促进了麻醉状态下犬的结肠内容物的传输运动. 同样麻醉状态下<sup>[30]</sup>, 3对起搏电极植入6只猪盲肠浆膜层, 给予波宽1 ms, 电压10 V, 波幅7-15 mA, 频率120 Hz串脉冲进行盲肠收缩实验. 结果发现电刺激后盲肠壁缩短30%, 同时检测肠腔内压力增加75%. 得出电刺激可以诱导盲肠的收缩和肠内容物的运动. 李文波等<sup>[24]</sup>在大鼠距盲肠结肠交界处1 cm的结肠浆膜层埋置一对电极, 使用参数为波宽4 ms、频率40 Hz、波幅10 mA、2 s开、3 s关的串脉冲刺激90 min, 观察对大鼠结肠传输的影响, 结果发现结肠串脉冲电刺激可以促进大鼠结肠传输. Sallam等<sup>[31]</sup>在犬升结肠埋置一对浆膜电极, 给予参数为波宽6 ms、频率40 Hz、波幅6 mA、2 s开、3 s关的串脉冲刺激6 h, 也得出相似的结论.

#### 4 结肠电刺激机制探讨

结肠电刺激影响结肠运动功能的机制尚未完全阐明. 目前研究主要集中在对肠神经系统的影响方面<sup>[32-36]</sup>. 肠神经系统发放信号给环肌和纵肌, 环肌和纵肌协调的收缩和舒张是肠运动的基础. 肠神经系统中含有胆碱能神经纤维, 电刺激可活化胆碱能神经纤维, 导致肠神经释放神经递质乙酰胆碱(acetylcholine, Ach), Ach可激活平滑肌上的M胆碱受体或节细胞上的N胆碱受体, 引起胃肠肌兴奋. 有学者报道<sup>[25]</sup>通过地芬诺酯/阿托品和阿洛司琼建立慢传输模型后, 在静脉注射阿托品之前和之后分别进行结肠电刺激, 结果发现电刺激导致结肠的收缩可以被阿托品阻断. 无论0.03 ms波宽, 还是0.3 ms波宽电刺激, 阿托品均可以完全拮抗电刺激导致的收缩效应, 可见波宽0.03-0.3 ms的电刺激导致的肌肉收缩是由胆碱能神经兴奋引起的. 此外阿托品还可

以部分拮抗波宽3 ms、30 ms的收缩效应<sup>[37]</sup>. 也有研究显示<sup>[29]</sup>, 波宽10 ms以下的脉冲导致的肌肉收缩都是由胆碱能神经的兴奋引起的. 还有研究表明<sup>[25]</sup>肠肌细胞的兴奋需要波宽>10 ms以上的脉冲, 而兴奋神经需要的波宽<1 ms. 相对于频率3 Hz电刺激, 频率为0.3 Hz的电刺激对Ach释放的影响较大. 随着刺激频率从1-10 Hz的增加, 乙酰胆碱的释放反而减少. 研究显示, 刺激频率的增加可能导致抑制性神经的兴奋, 进而抑制乙酰胆碱的释放和肌肉的收缩.

除了胆碱能神经支配胃肠道平滑肌, 胃肠道的运动活动还受抑制性神经释放的NO介导的传输信号调节<sup>[38,39]</sup>. 研究表明<sup>[40]</sup>, 利用阿托品和NO合酶抑制剂N-硝基-L-精氨酸对电刺激进行干预, 结果发现, 短波串脉冲结肠电刺激促进结肠传输的作用主要通过氮能神经通路而非胆碱能神经通路介导. 除了胆碱能神经及氮能神经, 其他的神经递质如 $\gamma$ -氨基丁酸、舒血管肽, 含P物质的肽能神经也参与结肠的运动<sup>[41,42]</sup>. 电刺激时这些因素是否共同参与以及如何相互作用导致结肠运动, 仍需进一步深入研究.

#### 5 结肠电刺激临床应用

结肠电刺激可以产生肠慢波, 诱导结肠收缩, 加强结肠推进, 促进结肠传输, 可用于胃肠道功能障碍性疾病如慢传输型便秘、结肠无力及假性肠梗阻等的治疗<sup>[18-20,43]</sup>. 研究表明结肠电刺激在IBS中可以纠正紊乱的肠节律, 使结肠慢波活动趋于正常化, 缓解腹痛、腹胀等症状, 应用于IBS的治疗<sup>[23]</sup>. Sallam等<sup>[44]</sup>研究表明, 结肠电刺激还可以延缓固体胃排空, 减缓小肠收缩, 减少小肠吸收, 可应用于肥胖的治疗.

#### 6 结肠电刺激安全性

早期报道显示应用波幅20-50 mA, 波宽10-50 ms电脉冲刺激肠壁可能导致电极局部组织过热或电损伤<sup>[45]</sup>. 还有学者报道应用短波高频(120 Hz、1 ms)电刺激后, 组织学检查发现电极附近组织呈现轻微慢性炎性改变, 组织损伤较小<sup>[27]</sup>. 尽管Sanmiguel等<sup>[25]</sup>证明, 电极的局部组织与正常组织比较未见明显异常. 仍需进一步观察结肠电刺激长期安全性, 为将来临床上永久植入提供更多依据.

#### 7 结论

结肠电刺激为胃肠功能障碍性疾病的治疗提供

#### ■ 相关报道

关于电刺激治疗胃肠功能障碍性疾病的研究取得了很大进展. 学者在消化系的不同部位尝试了多种电刺激方法, 取得了许多可喜成果.



## ■创新盘点

目前关于胃肠电刺激的研究主要集中在胃电刺激,而结肠电刺激在近年来才逐渐引起人们的关注,本文就近年来结肠电刺激的研究做一综述。

了一条有价值的新思路。治疗胃肠功能障碍,除了药物和手术,还可以选择电刺激。就目前研究而言,尽管大量动物实验已经证明结肠电刺激可以调节结肠运动,但机制尚不明确。对机制的深入研究有助于刺激方法的改进,目前除了神经电刺激器以外,大多数研究选择的参数消耗能量较大,只能由体外刺激器供电,给长期植入带来一定困难。而植入式神经电刺激器波宽较短,通常在1 ms左右,虽然短波宽可以兴奋胆碱能神经及氮能神经,加速结肠传输,但并不适用于所有结肠传输障碍性疾病,研究表明,慢传输便秘存在肠神经系统的损伤或机能障碍<sup>[46]</sup>。这种情况下,就必须选择针对肌细胞的较宽波宽的刺激参数辅助加速结肠传输。另外,随着对胃电刺激研究的深入,越来越多的实验证明由于内脏敏感性存在差异,个体对胃电刺激的反应不同。个体化参数在刺激过程中起到重要作用<sup>[47-49]</sup>。因此单纯针对于神经系统的刺激器并不是理想的植入装置。这就需要我们寻找新的刺激模式<sup>[50]</sup>,不仅降低能量消耗,保证刺激效果,同时还能减小对电极植入局部组织的损伤。随着研究的深入,低能耗的参数可以由电池供电,使永久植入成为可能。另外可以看到,目前的研究还是动物实验为主,临床实验较少。同时大多数研究以急性刺激和短期刺激为主,如果长期刺激,会不会导致结肠肌肉疲劳以及导致机体对刺激参数敏感性下降,仍需进一步研究。

## 8 参考文献

- Sun Y, Chen JD. Intestinal electric stimulation accelerates whole gut transit and promotes fat excrement in conscious rats. *Int J Obes (Lond)* 2009; 33: 817-823 [PMID: 19546870 DOI: 10.1038/ijo.2009.123]
- Lin Z, Sarosiek I, McCallum RW. Gastrointestinal electrical stimulation for treatment of gastrointestinal disorders: gastroparesis, obesity, fecal incontinence, and constipation. *Gastroenterol Clin North Am* 2007; 36: 713-734, x-xi [PMID: 17950445 DOI: 10.1016/j.gtc.2007.07.007]
- Yin J, Chen JD. Implantable gastric electrical stimulation: ready for prime time? *Gastroenterology* 2008; 134: 665-667 [PMID: 18325383 DOI: 10.1053/j.gastro.2008.01.068]
- Xu X, Lei Y, Chen JD. Duodenum electrical stimulation delays gastric emptying, reduces food intake and accelerates small bowel transit in pigs. *Obesity (Silver Spring)* 2011; 19: 442-448 [PMID: 20948518 DOI: 10.1038/oby.2010.247]
- Li S, Maude-Griffin R, Sun Y, Starkebaum W, Chen JD. Food intake and body weight responses to intermittent vs. continuous gastric electrical stimulation in diet-induced obese rats. *Obes Surg* 2013; 23: 71-79 [PMID: 23001597 DOI: 10.1007/s11695-012-0773-2]
- Shikora SA. Implantable Gastric Stimulation - the surgical procedure: combining safety with simplicity. *Obes Surg* 2004; 14 Suppl 1: S9-13 [PMID: 15479584 DOI: 10.1381/0960892041978999]
- D'Argent J. Gastric electrical stimulation as therapy of morbid obesity: preliminary results from the French study. *Obes Surg* 2002; 12 Suppl 1: 21S-25S [PMID: 11969104 DOI: 10.1381/096089202762552638]
- Zhang J, Chen JD. Systematic review: applications and future of gastric electrical stimulation. *Aliment Pharmacol Ther* 2006; 24: 991-1002 [PMID: 16984493 DOI: 10.1111/j.1365-2036.2006.03087.x]
- Soffer EE. Gastric electrical stimulation for gastroparesis. *J Neurogastroenterol Motil* 2012; 18: 131-137 [PMID: 22523722 DOI: 10.5056/jnm.2012.18.2.131]
- Mizrahi M, Ben Ya'acov A, Ilan Y. Gastric stimulation for weight loss. *World J Gastroenterol* 2012; 18: 2309-2319 [PMID: 22654422 DOI: 10.3748/wjg.v18.i19.2309]
- Bortolotti M. Gastric electrical stimulation for gastroparesis: a goal greatly pursued, but not yet attained. *World J Gastroenterol* 2011; 17: 273-282 [PMID: 21253385 DOI: 10.3748/wjg.v17.i3.273]
- Mintchev MP. Gastric electrical stimulation for the treatment of obesity: from entrainment to bezoars-a functional review. *ISRN Gastroenterol* 2013; 2013: 434706 [PMID: 23476793 DOI: 10.1155/2013/434706]
- Sevcencu C. Electrical stimulation - an evolving concept in the treatment of colonic motor dysfunctions. *Neurogastroenterol Motil* 2006; 18: 960-970 [PMID: 17040406 DOI: 10.1111/j.1365-2982.2006.00832.x]
- Tong WD, Liu BH, Zhang LY, Zhang SB, Lei Y. Decreased interstitial cells of Cajal in the sigmoid colon of patients with slow transit constipation. *Int J Colorectal Dis* 2004; 19: 467-473 [PMID: 15045515 DOI: 10.1007/s00384-003-0577-x]
- Wedel T, Spiegler J, Soellner S, Roblick UJ, Schiedeck TH, Bruch HP, Krammer HJ. Enteric nerves and interstitial cells of Cajal are altered in patients with slow-transit constipation and megacolon. *Gastroenterology* 2002; 123: 1459-1467 [PMID: 12404220 DOI: 10.1053/gast.2002.36600]
- Shafik A, El-Sibai O, Shafik AA. Electrophysiologic identification of the location of the colonic pacemakers. A human study. *Front Biosci* 2002; 7: b1-b5 [PMID: 11815299]
- Shafik A, Shafik AA, El-Sibai O, Ahmed I. Colonic pacing: a therapeutic option for the treatment of constipation due to total colonic inertia. *Arch Surg* 2004; 139: 775-779 [PMID: 15249412 DOI: 10.1001/archsurg.139.7.775]
- Shafik A, Shafik AA, el-Sibai O, Ahmed I. Colonic pacing in patients with constipation due to colonic inertia. *Med Sci Monit* 2003; 9: CR191-CR196 [PMID: 12761456]
- Dinning PG, Szczesniak MM, Cook IJ. Proximal colonic propagating pressure waves sequences and their relationship with movements of content in the proximal human colon. *Neurogastroenterol Motil* 2008; 20: 512-520 [PMID: 18194155 DOI: 10.1111/j.1365-2982.2007.01060.x]
- Aellen S, Wiesel PH, Gardaz JP, Schlageter V, Bertschi M, Virag N, Givel JC. Electrical stimulation induces propagated colonic contractions in an experimental model. *Br J Surg* 2009; 96: 214-220 [PMID: 19160367 DOI: 10.1002/bjs.6455]
- Spencer NJ, Bywater RA. Enteric nerve stimula-

- tion evokes a premature colonic migrating motor complex in mouse. *Neurogastroenterol Motil* 2002; 14: 657-665 [PMID: 12464088 DOI: 10.1046/j.1365-2982.2002.00367.x]
- 22 Sevcencu C, Rijkhoff NJ, Sinkjaer T. Colon emptying induced by sequential electrical stimulation in rats. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2005; 13: 516-523 [PMID: 16425834 DOI: 10.1109/TNSRE.2005.859358]
  - 23 Shafik A, El-Sibai O, Shafik AA, Ahmed I. Colonic pacing in the treatment of patients with irritable bowel syndrome: technique and results. *Front Biosci* 2003; 8: b1-b5 [PMID: 12456363 DOI: 10.2741/989]
  - 24 李文波, 刘诗, 钱伟, 侯晓华. 串脉冲和长脉冲结肠电刺激对大鼠结肠传输的影响. *中华医学杂志* 2006; 86: 3370-3372
  - 25 Sanmiguel CP, Casillas S, Senagore A, Mintchev MP, Soffer EE. Neural gastrointestinal electrical stimulation enhances colonic motility in a chronic canine model of delayed colonic transit. *Neurogastroenterol Motil* 2006; 18: 647-653 [PMID: 16918729 DOI: 10.1111/j.1365-2982.2006.00783.x]
  - 26 Sevcencu C, Rijkhoff NJ, Gregersen H, Sinkjaer T. Propulsive activity induced by sequential electrical stimulation in the descending colon of the pig. *Neurogastroenterol Motil* 2005; 17: 376-387 [PMID: 15916625 DOI: 10.1111/j.1365-2982.2004.00637.x]
  - 27 Vaucher J, Cerantola Y, Gie O, Letovanec I, Virag N, Demartines N, Gardaz JP, Givel JC. Electrical colonic stimulation reduces mean transit time in a porcine model. *Neurogastroenterol Motil* 2010; 22: 88-92, e31 [PMID: 19594689 DOI: 10.1111/j.1365-2982.2009.01359.x]
  - 28 Amaris MA, Rashev PZ, Mintchev MP, Bowes KL. Microprocessor controlled movement of solid colonic content using sequential neural electrical stimulation. *Gut* 2002; 50: 475-479 [PMID: 11889065 DOI: 10.1136/gut.50.4.475]
  - 29 Shafik A, El-Sibai O. Rectal pacing: pacing parameters required for rectal evacuation of normal and constipated subjects. *J Surg Res* 2000; 88: 181-185 [PMID: 10644486 DOI: 10.1006/jsre.1999.5741]
  - 30 Bertschi M, Schlageter V, Vesin JM, Aellen S, Peloponissios N, D'Ambrogio A, Wiesel PH, Givel JC, Kucera P, Virag N. Direct electrical stimulation using a battery-operated device for induction and modulation of colonic contractions in pigs. *Ann Biomed Eng* 2010; 38: 2398-2405 [PMID: 20300849 DOI: 10.1007/s10439-010-9985-6]
  - 31 Sallam HS, Chen JD. Colonic electrical stimulation: potential use for treatment of delayed colonic transit. *Colorectal Dis* 2013; 15: e244-e249 [PMID: 23350958 DOI: 10.1111/codi.12138]
  - 32 Liu S, Xu J, Chen JD. Roles of putative neurotransmitters in the regulation of gastric and intestinal slow waves in conscious dogs. *J Gastroenterol Hepatol* 2007; 22: 1044-1050 [PMID: 17608850 DOI: 10.1111/j.1440-1746.2007.04916.x]
  - 33 Sevcencu C, Rijkhoff NJ, Gregersen H, Sinkjaer T. Electrical stimulation to induce propulsive contractions in the porcine descending colon. *Artif Organs* 2005; 29: 246-249 [PMID: 15725227 DOI: 10.1111/j.1525-1594.2005.29045.x]
  - 34 Song GQ, Lei Y, Xu X, Chen JD. Gastric electrical stimulation with long pulses in humans and animals: can data obtained in animals be replicated in humans? *Neuromodulation* 2010; 13: 87-92 [PMID: 21992779 DOI: 10.1111/j.1525-1403.2009.00241.x]
  - 35 Yin J, Chen JD. Mechanisms and potential applications of intestinal electrical stimulation. *Dig Dis Sci* 2010; 55: 1208-1220 [PMID: 19629689 DOI: 10.1007/s10620-009-0884-3]
  - 36 Liu S, Lei Y, Chen JD. Inhibitory effects and mechanisms of colonic electric stimulation on gastric and rectal tone in conscious dogs. *Dis Colon Rectum* 2006; 49: 1749-1754 [PMID: 16758129 DOI: 10.1007/s10350-006-0586-2]
  - 37 Sevcencu C, Rijkhoff NJ, Sinkjaer T. Muscular vs. Neural Activation in Propulsion Induced by Electrical Stimulation in the Descending Colon of Rats. *Neuromodulation* 2005; 8: 131-140 [PMID: 22151442 DOI: 10.1111/j.1525-1403.2005.00229.x]
  - 38 Liu S, Chen JD. Colonic electrical stimulation regulates colonic transit via the nitrergic pathway in rats. *Dig Dis Sci* 2006; 51: 502-505 [PMID: 16614959 DOI: 10.1007/s10620-006-3162-7]
  - 39 Chiba T, Bharucha AE, Thomforde GM, Kost LJ, Phillips SF. Model of rapid gastrointestinal transit in dogs: effects of muscarinic antagonists and a nitric oxide synthase inhibitor. *Neurogastroenterol Motil* 2002; 14: 535-541 [PMID: 12358682 DOI: 10.1046/j.1365-2982.2002.00357.x]
  - 40 李文波, 刘诗, 侯晓华, Chen JD. 串脉冲结肠电刺激对大鼠结肠传输的影响及其机制. *中华医学杂志* 2007; 87: 3155-3157
  - 41 Bayer S, Jellali A, Crenner F, Aunis D, Angel F. Functional evidence for a role of GABA receptors in modulating nerve activities of circular smooth muscle from rat colon in vitro. *Life Sci* 2003; 72: 1481-1493 [PMID: 12535716 DOI: 10.1016/S0024-3205(02)02413-X]
  - 42 Grider JR. Neurotransmitters mediating the intestinal peristaltic reflex in the mouse. *J Pharmacol Exp Ther* 2003; 307: 460-467 [PMID: 12966154 DOI: 10.1124/jpet.103.053512]
  - 43 Martellucci J, Valeri A. Colonic electrical stimulation for the treatment of slow-transit constipation: a preliminary pilot study. *Surg Endosc* 2013 Sep 19. [Epub ahead of print] [PMID: 24048815 DOI: 10.1007/s00464-013-3192-0]
  - 44 Sallam HS, Chen JD. Colon electrical stimulation: potential use for treatment of obesity. *Obesity* (Silver Spring) 2011; 19: 1761-1767 [PMID: 21660079 DOI: 10.1038/oby.2011.146]
  - 45 Hughes SF, Scott SM, Pilot MA, Williams NS. Electrically stimulated colonic reservoir for total anorectal reconstruction. *Br J Surg* 1995; 82: 1321-1326 [PMID: 7489153 DOI: 10.1002/bjs.1800821009]
  - 46 赵敬胜, 童卫东. 慢传输性便秘的病理生理研究进展. *中华胃肠外科杂志* 2012; 15: 758-760
  - 47 Yao S, Ke M, Wang Z, Xu D, Zhang Y, Chen JD. Visceral sensitivity to gastric stimulation and its correlation with alterations in gastric emptying and accommodation in humans. *Obes Surg* 2005; 15: 247-253 [PMID: 15802069 DOI: 10.1381/0960892053268363]
  - 48 Yao S, Ke M, Wang Z, Xu D, Zhang Y, Chen JD. Retrograde gastric pacing reduces food intake and delays gastric emptying in humans: a potential therapy for obesity? *Dig Dis Sci* 2005; 50: 1569-1575 [PMID: 16133953 DOI: 10.1007/s10620-005-2899-8]
  - 49 Yao SK, Ke MY, Wang ZF, Xu DB, Zhang YL. Visceral response to acute retrograde gastric electrical stimulation in healthy human. *World J Gastroenterol*

## 同行评价

本文对结肠电刺激的研究进展做了系统回顾, 该文引用文献正确, 反映了该领域的最新进展。

- 2005; 11: 4541-4546 [PMID: 16052685]  
50 Zhang J, Tang M, Chen JD. Gastric electrical stimulation for obesity: the need for a new de-

vice using wider pulses. *Obesity* (Silver Spring) 2009; 17: 474-480 [PMID: 19057530 DOI: 10.1038/oby.2008.543]

编辑 郭鹏 电编 鲁亚静



ISSN 1009-3079 (print) ISSN 2219-2859 (online) DOI: 10.11569 2014年版权归百世登出版集团有限公司所有

## • 消息 •

### 《世界华人消化杂志》被评为中国精品科技期刊

本刊讯 2011-12-02, 中国科学技术信息研究所在北京发布2010年中国科技论文统计结果, 经过中国精品科技期刊遴选指标体系综合评价, 《世界华人消化杂志》被评为2011年度中国精品科技期刊. 中国精品科技期刊以其整体的高质量示范作用, 带动我国科技期刊学术水平的提高. 精品科技期刊的遴选周期为三年. (《世界华人消化杂志》编辑部)