

基于多通道生理信息反馈的智能振动治疗装置设计

王昌军¹,任超²,侯威¹,王亚平¹,黄河¹,冯健¹,田秀娜¹

1. 锦州医科大学公共基础学院, 辽宁 锦州 121001; 2. 锦州教师进修学院, 辽宁 锦州 121001

【摘要】介绍一种基于嵌入式系统的多通道生理信息反馈多频振动治疗装置,它涉及医用传感器领域,属于一种可刺激人体穴位、骨骼、肌肉等的医疗器械、保健器材。该设备包括多个分体式自吸式振动装置和控制仪两部分,通过机械振动方式在人体特定体位下的特定部位给予自动和可手动设置有效频率的物理振动刺激;同时采集振动触点的压力、震动幅度、肌电的信息,实时反馈给系统控制器。执行元件依据给定的程式实现振动压力的自动调节,从而确保实现振动治疗的定量、有效。

【关键词】多频振动;生理信息;反馈;自吸式振动装置

【中图分类号】R318.6

【文献标志码】A

【文章编号】1005-202X(2016)08-0825-05

Design of intelligent vibration treatment device based on multi-channel physiological information feedback

WANG Chang-jun¹, REN Chao², HOU Wei¹, WANG Ya-ping¹, HUANG He¹, FENG Jian¹, TIAN Xiu-na¹

1. School of Basic Science, Jinzhou Medical University, Jinzhou 121001, China; 2. Jinzhou Teachers Training College, Jinzhou 121001, China

Abstract: A kind of multi-frequency vibration treatment device of multi-channel physiological information feedback based on embedded system is introduced in the paper. The device, relevant to the field of medical sensors, is a kind of medical and healthcare equipment for stimulating the human body acupuncture point, bone, muscle and so on. The device includes the multiple-split self-suction vibration device and controller. By the mechanical vibration, the physical vibration stimulation of effective frequency can be applied on the specific positions at a certain body posture automatically or manually. And the vibrating contact pressure, vibration amplitude and electromyography information are collected and sent back to the system controller in real-time. According to the given program, the executive components achieve the automatic adjustment of vibration pressure, which makes sure the vibration treatment is quantitative and effective.

Key words: multi-frequency vibration; physiological information; feedback; self-suction vibration device

前言

经动物实验研究和临床验证发现,振动波在人体中传输时频率不同则衰减不同,选用适当的振动频率可以使振动刺激到人体的不同深度^[1-2];可以激发人体不同部位和不同层次的共振区域,对病人的症状、病位具有不同的疗效。这种多频振动作用于人体穴位,可以疏通经络、促进血液循环、解除疲劳、调整机体功能等作用。多频振动作用于人体骨骼、

肌肉,还可以提高肌体修复和再生能力^[3-4],加速骨组织重建,促进新鲜较稳定性骨折的愈合^[5-6]。多频振动可以加快器官、运动系统和软组织功能的恢复^[7-8]。

检索国内外资料发现,振动治疗装置方式主要有一体式^[9-10]和分体式^[11]两种。一体式不足之处在于体积较大,通常做全身或大部分身体的震动,疗效不确切,并且这种全身振动有弊端,据报道容易造成胃肠功能紊乱、恶心等。分体式只是单方面考虑仪器的振动频率、幅度及时间,没有考虑人体的复杂性。人体不是刚体,振源与人体作用力的变化会实时改变作用于人体的振动频率及幅度,即使能保证压力相同,对于不同体质作用的效果也会不同^[12]。并且原有的振动刺激仪反应不了机体对振动的生理反应,只是人的主观感觉,缺少定量。而且这些专利设

【收稿日期】2016-04-05

【基金项目】辽宁省自然科学基金(2015020328);辽宁省普通高等教育本科教学改革研究项目(UPRP20140501)

【作者简介】王昌军,硕士,副教授,研究方向:医用物理、医学影像物理,E-mail:wjandhw@163.com

备都未能采用生理信息进行反馈,本装置则基于多通道生理信息反馈来控制治疗。

1 振动治疗装置的设计要求

1.1 振动装置的技术要点

采用多个分体自吸式振动装置,特点是位置可调、作用点准确,适应人体多个不同位置,加速度 $0.1\sim 0.5\text{ g}$ 可调,频率 $0\sim 100\text{ Hz}$ 可调。带压力传感器,可采集压力信号,带肌电电极,采用表面导出法,即把电极贴附在皮肤上导出电位信号^[13]。

1.2 控制仪的技术要点

(1)能够提供多种频率的输出,其时间段和输出功率可调;(2)能够按振动治疗的要求实现多种频率与时间及功率的组合;(3)能自动分析振动头触点的压力、幅度信息;(4)能自动分析振动头触点的肌电信息;(5)利用计算机技术,作肌电图和压力图的自动分析,实时反馈给系统控制器,依据给定的程式,实现振动压力的自动调节,从而确保实现振动定量、有效。

2 振动治疗装置的结构

根据上述基本要求,仪器主机以微处理器系统为核心,它连接了多个符合生物医学工程要求的分体自吸式振动装置,可对指定部位输出多种频率的振动刺激,达到理疗获得康复的目的。

2.1 自吸式振动装置的结构

自吸式振动装置主要包括(图1和图2):橡胶吸球、吸盘、电磁锤、直线步进电机、压力传感器、肌电电极、数据线、数据线插头、电机丝杆、传动滑块、滑道、电磁锤机座、步进电机机座、螺钉等部件。橡胶吸球有很好的弹力,其下端可与吸盘的上端紧密连接,吸盘为不锈钢材质;电磁锤机座、步进电机机座均为弹性材质保证振动部件的悬浮性;电磁锤与直线步进电机横断面为正方形,保证了橡胶吸球与吸盘间的空气通路;直线步进电机在驱动信号下带动电机丝杆转动,电机丝杆与传动滑块丝扣对接传动滑块外部光滑可沿滑道上下运动;压力传感器的非感应段与传动滑块底部中心点固定;肌电电极湿胶肌电电极,采用表面导出法,把电极贴附在皮肤上导出电位信号;振动装置的数据线分别连接电磁锤、直线步进电机、压力传感器、肌电电极,数据线出口处密封处理,数据线端为数据线插头,与控制仪对应的数据线插座连接。

2.2 控制仪的结构

控制仪主要包括控制仪外壳、电源开关、手动振

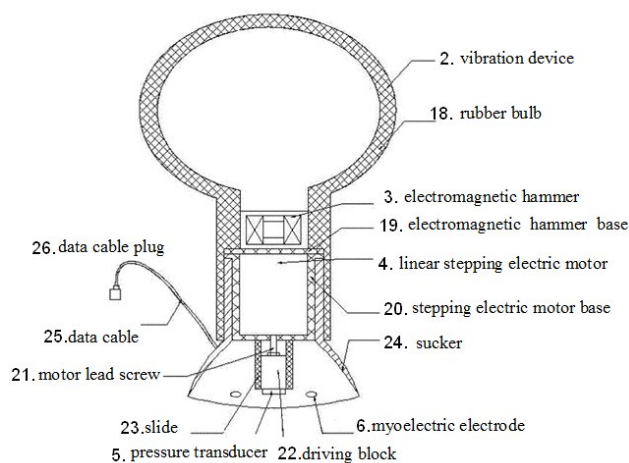


图1 自吸式振动装置的剖面结构图
Fig.1 Cross-section diagram of self-suction vibration device

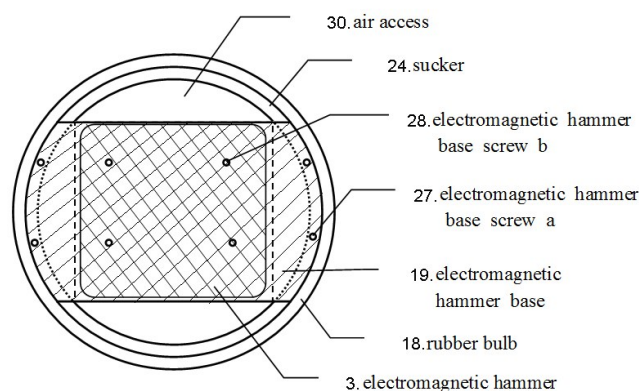


图2 振动装置的横剖面空气通路结构图
Fig.2 Cross-section diagram of the air access of vibration device

幅旋钮、数据线插座、触摸输入屏、液晶显示屏、电路板等部件。控制仪外壳材质为工程塑料,控制仪有10个数据线插座,可通过数据线插头与分体自吸式振动装置连接,控制仪最多可连接10个分体自吸式振动装置,当然可根据需要扩展为更多。控制仪有10个手动振幅旋钮,每个手动振幅旋钮控制一路振动装置,对振幅进行手动调整,触摸输入屏为数据录入端口,液晶显示屏可显示数据和图像。

3 仪器系统硬件构成

仪器系统硬件主要由两部分构成,即振动治疗装置与生理信号采集与控制子系统,其主要系统结构如图3所示。

3.1 振动治疗装置的设计

振动治疗装置驱动,主要包括电机驱动与电磁锤驱动两个模块。

3.1.1 电机驱动 步进电机驱动电路主要由微处理器和芯片ULN2003构成。只用采用单片机无法驱动步

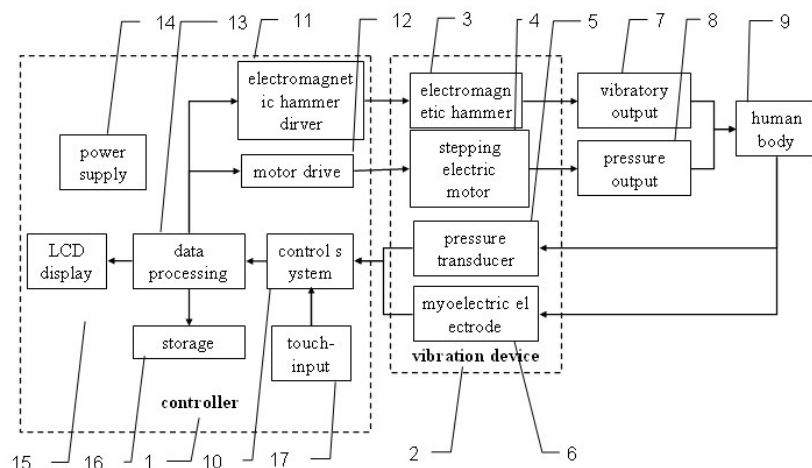


图3 振动治疗装置的结构图

Fig.3 Block diagram of vibration treatment device

进电机,采用芯片ULN2003用于电压转换,将电压值转换为步进电机正常工作的12 V电压。由于电机由脉冲信号控制,本系统通过C8051f410单片机定时器来完成产生脉冲信号的功能,定时器工作模式定时功能也是通过计数器的计数来实现。通过对定时器设定不同的初值可以完成输出不同频率的脉冲,即可完成对步进电机的调节,通过调节不同占空比的脉冲来调节振动设备对人体的压力。

3.1.2 电磁锤驱动 本系统电磁锤采用光电耦合晶闸管MOC3041驱动,其输出额定电压400 V,并且可实现输出0~400 V电压的调节。通过单片机定时器控制输出脉冲的频率与占空比,经过MOC3041后,完成对电磁锤打击频率的调节。

3.1.3 系统保护电路 由于本系统电压值较高,因此系统需要一个保护电路,以便出现意外时保证系统与人身安全。

3.2 生理信号采集与控制子系统

生理信号采集与控制子系统主要由电源模块、肌电采集模块、压力采集模块、传输模块、微处理器模块组成。

3.2.1 电源模块 本系统器件都需要电源驱动,选对电源对整个系统的性能至关重要,当电源选择不当时,系统不仅噪声可能比较大,甚至整个系统都不能正常工作。生理信号采集与控制子系统主要采用3.7 V可充电锂电池供电,实现对生理信号采集系统的供电。由于生理信号采集子系统采用单电源供电,因此需要一定的基准电压,由稳压芯片AMS1117-1.5为采集模块提供基准电压。1.5 V电压从芯片2脚输出,这样为采集模块提供了一个稳定的1.5 V基准源,使系统工作更加稳定。

3.2.2 肌电采集模块 一般的振动刺激仪只是单方面

考虑仪器的振动频率、幅度及时间,没有考虑人体的复杂性,所以对于不同个体并不都能达到比较好的效果。针对上述缺点,本系统引入人体生理信号的反馈,振子振动的频率与幅值因个体不同而不同,相比于其他的振动仪能达到更加良好的效果。相比于振子驱动模块采用220 V电压供电,肌电采集模块一般采用低电压供电,如锂电池、干电池等。因此,对于肌电采集模块的功耗要求比较严格,采集模块需要实现低功耗的设计,具体实现办法有:(1)采用低功耗芯片,如AD623、TLV2252;(2)采用单电源供电。

首先肌电信号由肌电电极进入前置放大级,由于极化电压等因素的影响,前置放大倍数不能太大,本系统选择放大10倍;带通滤波器通频带为15~500 Hz,从而将心电等噪声滤除;由于现实生活中存在较多的50 Hz工频干扰,因此采用50 Hz陷波滤波器将工频干扰除去,得到信噪比较高的肌电信号;最终经过AD采样后得到12位的肌电数据,传输到微处理器用于进一步处理分析(图4)。

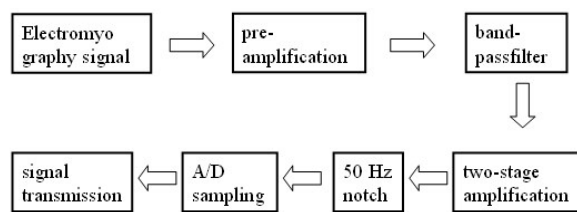


图4 肌电采集流程图

Fig.4 Flow diagram of electromyography

3.2.3 压力采集模块 目前一般振动仪的振动幅值都是固定的,而人体个别差异性较大,振子振动幅度对于人体至关重要,幅度过大时,可能对人体造成伤

害;幅度过小时,可能起不了治疗作用。因此,控制振子幅度至关重要。基于上述缺点,本系统引入压力采集模块,通过压力传感器实时采集振子与人体间的压力信号,从而实现振子幅度的调节。

首先压力信号通过压力传感器进入压力信号调理电路,完成对信号的处理;最后通过对压力信号进行AD采样,输出12位的压力数据传输到微处理器(图5)。

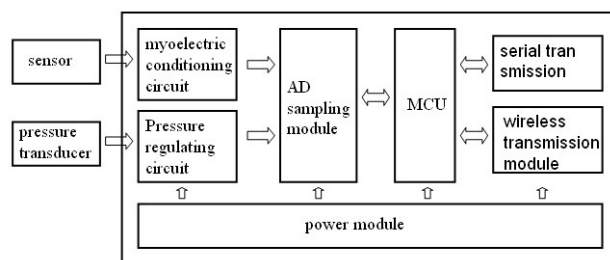


图5 生理信号采集系统主要流程

Fig.5 Flow diagram of physiological information collection system

3.2.4 微处理器模块 微处理器采用Cygna1生产的C8051f系列单片机,该单片机是完全集成的混合信号片上系统型MCU,采用高速、流水线设计结构,速度最高可达50 MIPS,并且能与8051完全兼容。

3.2.5 传输模块 对压力与肌电信号进行AD采样后,需要对信号进一步处理与分析,首先需要将信号传输到上位机,本系统可供选择的传输方式有两种,即有线传输与无线传输。无线传输采用蓝牙的传输方式,便于与上位机实现通信,选用的蓝牙模块是HC-06,该模块集成蓝牙协议,非常便于日常开发。有线传输方式采用串口数据传输,电压转换芯片采用max232,将单片机工作电压转化为串口正常工作时的电压,波特率采用115 200,通过串口将数据传输到上位机用于处理与分析。

4 软件系统

在软件系统中主要实现对人体生理信号的保存、显示与比较。并对生理信号进一步处理,以实现振动治疗装置的反馈控制,其主要包括数据保存、数据显示与比较、数据分析等模块。系统的各个模块的转换是通过仪器的键盘控制来实现的。

其主要实现过程有(图6):(1)用户注册登录,建立后台数据库,记录相关重要数据,如病人姓名、年龄、身高、体质量、性别等信息类表;(2)确定本人压力与肌电的基准信号,提取有代表性的特征值;(3)硬件系统开始工作,接收并保存用户肌电与压力信号;(4)对肌电信号与压力信号进行处理,提取特征

值与标准信号相比较;(5)将结果反馈给硬件系统,以实现硬件系统的自动调节,达到最佳效果;(6)记录治疗时间,完成治疗。

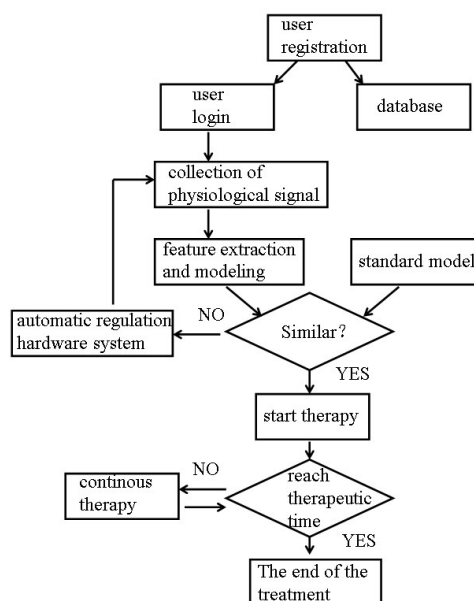


图6 软件系统流程图

Fig.6 Flow diagram of software system

4.1 信号滤波

本系统采用自适应算术平均法与IIR双线性变z变换法滤波器,完成对生理信号的滤波,使得信号的信噪比进一步提升,方便下一步的处理。

4.2 特征值的提取

本系统采用以小波变换为代表的时-频分析方法,因结合了时域、频域两种方法的特性,因此能够得到更加理想的效果,如提取肌电信号的积分肌电值、均方根值、平均功率频率和中位频率等特征值^[14-15]。

5 结论

这款基于嵌入式系统的多通道生理信息反馈振动治疗装置,包括多个分体自吸式振动装置和控制仪两部分,通过机械振动方式,在人体特定体位下的特定部位给予自动和可手动设置有效频率的物理振动刺激;同时采集振动触点的压力、震动幅度、肌电的信息,实时反馈给系统控制器。执行元件依据给定的程式实现振动压力的自动调节,从而确保实现振动治疗的定量、有效。这款基于嵌入式系统的多通道生理信息反馈振动治疗装置具有较高的临床应用价值和商业价值,开发这款振动治疗装置将对我国生物医学工程产业和服务人民卫生事业都有着积极意义。

【参考文献】

- [1] PRISBY R D, LAFAGE-PROUST M H, MALAVAL L, et al. Effects of whole body vibration on the skeleton and other organ systems in man and animal models: what we know and what we need to know[J]. *Ageing Res Rev*, 2008, 7(4): 319-329.
- [2] NAZAROV V, SPIVAK G. Development of athlete's strength abilities by means of biomechanical stimulation method[J]. *Moscow Theory Pract Phys Cult*, 1987, 12: 37-39.
- [3] TURBANSKI S, HAAS C T, SCHMIDTBLEICHER D, et al. Effects of random whole-body vibration on postural control in Parkinson's disease[J]. *Res Sports Med*, 2005, 13(3): 243-256.
- [4] WUNDERER K, SCHABRUM S M, CHIPCHASE L S. Effects of whole body vibration on strength and functional mobility in multiple sclerosis[J]. *Physiother Theory Pract*, 2010, 26(6): 374-384.
- [5] RUBIN C T, SOMMERFELDT D W, JUDEX S, et al. Inhibition of osteopenia by low magnitude, high-frequency mechanical stimuli[J]. *Drug Discov Today*, 2001, 6(16): 848-858.
- [6] RUBIN C, XU G, JUDEX S. The anabolic activity of bone tissue, suppressed by disuse, is normalized by brief exposure to extremely low-magnitude mechanical stimuli[J]. *FASEB J*, 2001, 15(12): 2225-2229.
- [7] 王玲, 刘闰南. 多频振动治疗仪设计与实现[J]. *东南大学学报*, 1999, 29(2): 155-158.
WANG L, LIU R N. Design and application of the multi-frequency vibration cure equipment[J]. *Journal of Southeast University*, 1999, 29(2): 155-158.
- [8] 鲍勇. 次声对人外周血单个核细胞的影响研究[D]. 广州: 南方医科大学, 2008.
BAO Y. The effects of infrasound on human peripheral blood mononuclear cell[D]. *Guangzhou: Southern Medical University*, 2008.
- [9] 诺伯特·施普克. 振动治疗装置: CN87107748 [P]. 1988-05-18.
- [10] 刘鹏, 赵建华, 刘明永. 磁场低频振动一体式骨质疏松治疗仪: CN202096409U [P]. 2012-01-04.
LIU P, ZHAO J H, LIU M Y. Low frequency magnetic field vibration one-piece osteoporosis therapy apparatus: CN202096409U [P]. 2012-01-04.
- [11] 郭晓阳. 骨生长刺激仪: CN1843319 [P]. 2006-10-11.
GUO X Y. Bone growth stimulator: CN1843319 [P]. 2006-10-11.
- [12] 项斌, 都承斐, 莫中军, 等. 不同振动载荷刺激对L1-L5腰椎的生物力学响应研究[J]. *生物医学工程学杂志*, 2015, 32(1): 48-54.
XIANG B, DU C F, MO Z J, et al. Biomechanical study of lumbar spine under different vibration conditions [J]. *Journal of Biomedical Engineering*, 2015, 32(1): 48-54.
- [13] 王昌军, 徐礼胜, 梅晰凡, 等. 基于多通道生理信息反馈的智能振动治疗装置: CN203263773U [P]. 2013-11-06.
WANG C J, XU L S, MEI X F, et al. The design of intelligent vibration treatment device based on intellectual multichannel information feedback: CN203263773U [P]. 2013-11-06.
- [14] 吴冬梅, 孙欣, 张志成, 等. 表面肌电信号的分析和特征提取[J]. *中国组织工程研究与临床康复*, 2010, 14(43): 8073-8076.
WU D M, SUN X, ZHANG Z C, et al. Feature collection and analysis of surface electromyography signals [J]. *Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research*, 2010, 14(43): 8073-8076.
- [15] 何涛, 胡洁, 夏鹏, 等. 基于Relief算法与遗传算法的肌电信号特征选择[J]. *上海交通大学学报*, 2016, 50(2): 204-208.
HE T, HU J, XIA P, et al. Feature selection of emg signal based on relief algorithm and genetic algorithm [J]. *Journal of Shanghai Jiaotong University*, 2016, 50(2): 204-208.

(编辑:陈丽霞)

(上接820页)

- computed tomography colonography: a new screening option[J]. *J Physican Assist Educ*, 2010, 21: 35-42.
- [3] PHILIP A K, LUBNER M G, HARMS B. Computed tomographic colonography[J]. *Surg Clin North Am*, 2011, 91: 127-139.
- [4] 余深平, 李子平, 许达生, 等. 大肠充气螺旋CT扫描图像后处理功能的临床应用[J]. *中华放射学杂志*, 2000, 34(5): 295-299.
YU S P, LI Z P, XU D S, et al. The clinical application of the post-processing functions in scanned images of the colorectal aerated spiral CT[J]. *Chinese Journal of Radiology*, 2000, 34(5): 295-299.
- [5] KUDO S, TAMURA S, NAKAJIMA T, et al. Diagnosis of colorectal tumorous lesions magnifying endoscopy[J]. *Gastrointest Endosc*, 1996, 44(1): 8-14.
- [6] BOND J H. Polyp guideline: diagnosis, treatment, and surveillance for patients with colorectal polyps[J]. *Ann Intern Med*, 2000, 95(11): 3053-3063.
- [7] TUNG S Y, WU C S, SU M Y. Magnifying colonoscopy in differentiating neoplastic from nonneoplastic colorectal lesions[J]. *Am J Gastroenterol*, 2001, 96(9): 2628-2632.
- [8] MORSON B C. Factors influencing the prognosis of early cancer of the rectum[J]. *Proc R Soc Med*, 1966, 59(7): 607-608.
- [9] FU K I, SANO Y, KATO S, et al. Chromoendoscopy using indigo carmine dye spraying with magnifying observation is the most reliable method for differential diagnosis between non-neoplastic and neoplastic colorectal lesions: a prospective study[J]. *Endoscopy*, 2004, 36(12): 1089-1093.
- [10] CHANG C C, HSIEH C R, LOU H Y, et al. Comparative study of conventional colonoscopy, magnifying chromoendoscopy, and magnifying narrow-band imaging systems in the differential diagnosis of small colonic polyps between trainee and experienced, endoscopist [J]. *Int J Colorectal Dis*, 2009, 24(12): 1413-1419.
- [11] HORIMATSU T, SANO Y, KANEKO K, et al. Relationship between MVD and meshed-capillaries using magnifying NBI colonoscopy in colorectal precursor lesions[J]. *Hepatogastroenterology*, 2009, 56(90): 372-377.
- [12] 刘志国, 郭学刚, 孙安华, 等. 内镜窄带成像技术的临床应用体会[J]. *中国消化内镜*, 2008, 12(2): 41-48.
LIU Z G, GUO X G, SUN A H, et al. Clinical application of endoscopic narrow-band imaging technology[J]. *China Gastrointestinal Endoscopy*, 2008, 12(2): 41-48.
- [13] 苏燕波, 唐建光, 刘晓敏, 等. 内镜窄带成像技术在大肠息肉样病变诊断中的价值[J]. *中国内镜杂志*, 2012, 18(3): 225-228.
SU Y B, TANG J G, LIU X M, et al. The value of narrow-band imaging endoscopy in the diagnosis of polypoid lesions of the large intestine[J]. *China Gastrointestinal Endoscopy*, 2012, 18(3): 225-228.

(编辑:陈丽霞)