doi: 10.13241/j.cnki.pmb.2018.11.021

基于心率检测的便携式儿童情绪感知系统研制 *

杨乔生 禹东川 张 磊 孙 瑜 缪 佳

(东南大学 儿童发展与学习科学教育部重点实验室 江苏 南京 210096)

摘要 目的:检测儿童的情绪能力,从而检验儿童情绪能力发展是否正常以及协助训练孤独症儿童的情绪能力。**方法:**设计了一套便携式的儿童情绪感知系统,检测儿童的情绪能力。本系统由心率信号采集模块,PC 机端的软件以及情绪能力数据分析组成。**结果:**研制的儿童情绪能力感知系统具有便携、可穿戴等优点,能够准确地检测儿童情绪能力。**结论:**儿童情绪能力感知系统能够检测使用者的情绪能力,也能够在儿童情绪能力干预训练中记录孤独症儿童的情绪变化,为干预训练提供帮助。

关键词:情绪感知;孤独症谱系障碍;便携式;心率变异性

中图分类号:B842.6;R844.1;Q-337 **文献标识码:**A **文章编号:**1673-6273(2018)11-2098-05

Design of Portable Emotion Perception System based on Heart Rate*

YANG Qiao-sheng, YU Dong-chuan, ZHANG Lei, SUN Yu, MIU Jia

(Key Laboratory of Children Development and Learning Science, Southeast University, Nanjing, Jiangsu, 210096, China)

ABSTRACT Objective: Testing child's emotion ability is to find whether child's emotion ability development is normal and help to train child with autism emotion ability. **Methods:** This paper designs a set of portable child's emotion perception system to detect child's emotion ability. This system consists of heart rate signal acquisition module, PC-side software and data analysis about emotion ability. **Results:** This developed child's emotion perception system is easy to carry and operate. This system can accurately detect child's emotion ability. **Conclusions:** This child's emotion perception system can detect the user's emotion ability. This system can also record emotion changes in child with autism spectrum, so as to provide assistance for intervention training.

Key words: Emotion sense; Autism Spectrum Disorder; Portable; Heart rate variability

Chinese Library Classification(CLC): B842.6; R844.1; Q-337 Document code: A

Article ID: 1673-6273(2018)11-2098-05

前言

近年来,国内外学者对儿童的情绪能力进行了不同程度和不同侧面的研究。情绪能力与儿童的社会化是密不可分的,儿童的情绪能力在一定程度上预测其社会能力,反之,儿童的社会能力也能够预测其情绪能力[1,2]。孤独症儿童的社会适应能力与情绪能力存在着严重的问题,恰当的干预训练有助于孤独症儿童提高其情绪能力。目前,干预训练的方法大致分为四种:电脑程序干预、认知行为干预、动画片干预和单一情绪表达理解训练。

然而,由于缺乏对孤独症儿童情绪能力的评估工具,在制定进行情绪能力训练方案时没有具体、细致的、有层次的评价指标和标准。实施的过程也是困难重重。基于此,本文研制的穿戴式的、便携的儿童情绪能力感知系统具有一定的应用价值。该系统由信号采集模块, 数据分析模块和刺激程序模块组成。该系统加入了短时 HRV, 通过生理参数指标客观的反映训练结果,可以作为儿童情绪能力的评估工具,测试结果也可以保存到数据库,方便数据存储和联网查询。

1 系统结构

本文设计的便携式情绪感知系统,整体结构包括前端信号采集、无线传输、数据存储、数据分析和结果显示等部分。总体可以分为信号采集模块、数据分析模块、情绪刺激模块三个模块。情绪刺激模块主要用于引导被测对象的情绪,包括七个阶段,基线测试阶段、三个任务阶段和三个静息阶段。信号采集模块的主要作用是采集心率信号及数据的无线传输。数据分析模块包括数据的接收、存储、HRV 分析和上传结果。本文设计中使用的数据分析模块和情绪刺激模块主要基于 C# 和 Matlab 混合编程来实现。

2 系统各模块设计实现

2.1 信号采集模块

如图 1 所示,包括传感器、放大器、单片机、蓝牙、以及电源。光电容积法凭借其测量方法简单、佩戴方便、可靠性高等特点,成为目前最广泛使用的方法[3,4],本研究的信号采集主要通过光电容积脉搏波描记法采集被测对象的心电信号 。基本原理是通过发射红光或者红外光照射到人体皮下组织中,皮下组织的半透明度随着皮下组织的血容量变化不断变化,光信号经过血液吸收、反射、透射等过程后[5],光电二极管的电信号变化周期近似于 RR 间期, 而 RR 间期正是分析心率变异性所需要

* 基金项目:国家自然科学基金项目(61673113)

作者简介:杨乔生(1993 -),硕士,研究方向:人机交互,E-mail: 1012811021@qq.com

(收稿日期:2017-11-17 接受日期:2017-12-22)

的数据。信号采集装置设计成可穿戴的便携装备,对外部环境依赖小。

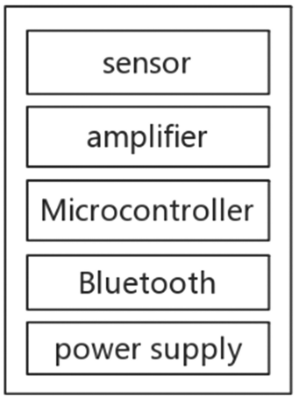


图 1 信号采集模块

Fig.1 Signal acquisition module

2.2 数据分析模块

如图 2 所示,接收和存储信号采集模块发回的数据,并对数据加以分析,最后把各项指标值上传到数据库中,以供后续分析和研究使用。数据分析模块最核心的部分在于 HRV 分析程序，分析计算每个阶段的心率数据得到相应的 HRV 各项指标,分析情绪相关的指标从而使系统具有感知情绪的能力。



图 2 数据分析模块

Fig.2 Data Analysis Module

2.2.1 情绪感知算法 无论是在静息状态下还是在运动状态下,正常人的心率并不是恒定不变的,而是存在一定的起伏,通常用心率变异性（Heart Rate Variability, HRV）这一指标来衡量。准确地说,HRV 指的是连续正常心动周期之间时间上的微小差异,它的产生主要是由于神经体液因素对心血管系统精细调节的结果[6]。大量研究已经充分肯定 HRV 是定量判断自主神经活动的常用指标,HRV 可反映迷走神经活性水平以及交感神经活性水平[7-9]。因此,HRV 具有用于情绪感知的基础[10,11]。

反映窦性心率的间期是 PP 间期,因此 PP 间期可以直接反映 HRV。然而由于 P 波的幅值很小导致难以准确检测,且一般情况下 PP 间期与 RR 间期相等，因此通常以分析 RR 间期来获得 HRV,这也是目前 HRV 分析的黄金标准[12-15]。分析 HRV 实质上是定量描述窦性心律不齐程度，其分析方法可分为时域、频域和非线性三类[16-18]。

2.2.2 时域分析算法 时域分析是应用数理统计的方法对 RR 间期序列做统计学上的分析[19],主要指标有:全部正常窦性 RR 间期均值 Mean RR、全部正常窦性 RR 间期标准差 SDNN、连续 RR 间期之差的均方根 RMSSD、三角形指数(Triangular Index)等。

如图 3 所示，一名正常使用者的瞬时心率心率直方图,表示的是心率的分布情况,其中横轴表示瞬时心率值,纵轴表示测试时间内某个瞬时心率值出现的次数。根据瞬时心率分布情况,可以计算出该使用者的平均心率 N_{HR}。

其中，表示第 x_i 个直方的横坐标值，y_i 表示第 i 个直方的纵坐标值。

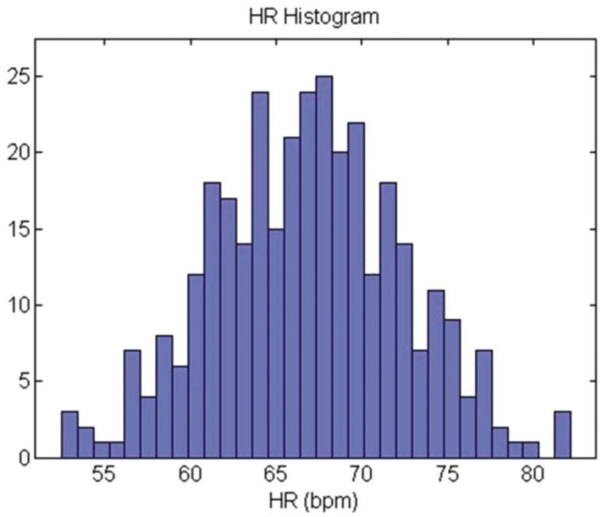


图 3 心率直方图

Fig.3 Heart rate histogram

被测对象完成不同的任务,会引发情绪变化,从而影响瞬时心率，从而使得 RR 间期标准差 SDNN 产生较大差异。SDNN 越大,表示被测对象情绪变化越明显。因此,SDNN 可以作为判断情绪起伏的指标。

2.2.3 频域分析算法 频域分析即进行功率谱密度分析,主要指标有总功率(TP)(0~0.4 Hz)、低频功率(LF) (0.04~0.15 Hz)、高频功率(HF)(0.15~0.4 Hz)、标准化的 LF 功率(LF norm)、标准化的 HF 功率(HF norm)以及低频功率与高频功率的比值(LF/HF)等指标[20]。本文采用 Welch 法估计功率谱密度,如表 1 和图 4 所示，一个正常使用者的心率数据进行功率谱密度分析的结果。表 1 中,LF 对应图 4 中紫色区域,HF 对应图 4 中淡蓝色区域。LF/HF 的值等于低频段能量与高频段能量之比,即图 4 中紫色区域面积与淡蓝色区域面积之比。积分计算后,低频段能量值见表 1 第三行第二列，高频段能量值见表 1 第四行第二列。由此可以算出该使用者的 LF/HF 值：.

$$\frac{LF}{HF} = \frac{IIII}{IIII} = \frac{IIIII}{IIIII} = \frac{IIIIII}{IIIIII} = 1842.\frac{2}{959}.3 = 1.920$$

LF/HF 反映的是自主神经系统的平衡状态,基本上代表交感神经张力的高低。LF/HF 值可以作为反映被测对象兴奋程度的指标,被测对象情绪越激动,LF/HF 越大,被测对象情绪越平静,LF/HF 越小[21-24]。

表 1 Welch 法频域分析指标

Table 1 Indexes of Welch method frequency domain analysis

Welch	Power(ms)	Power(%)	Power(n.u.)	LF/HF(ratio)
VLF	3079.1	52.4		
LF	1842.2	31.3	0.658	1.920
HF	959.3	16.3	0.342	

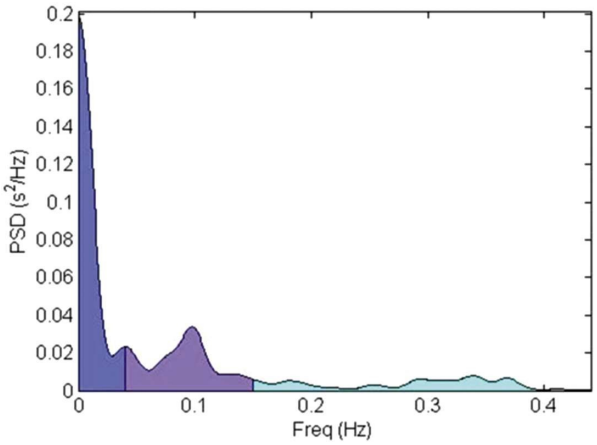


图 4 Welch 法功率谱分析

Fig.4 Welch method power spectrum analysis

2.2.4 **非线性分析算法** 非线性分析是建立在非周期混沌力学理论基础上的分析方法，主要有去趋势波动分析、幂律分析、熵分析、Poincare 散点图等方法[25]，其中 Poincare 散点图是最常用的一种[26]。本文采用 Poincare 散点图建立 x、y 二维坐标系，横轴 x 的数值代表心搏间隔 RRn，纵轴 y 的数值代表紧随其后的心搏间隔 RR(n+1)。采用椭圆拟合的方法分析 Poincare 散点图，短轴 SD1 和长轴 SD2 为定量分析的指标。如图 5 所示，用椭圆拟合的 Poincare 散点图展示了非线性分析的结果。SD1 可以反映情绪的瞬时变化，SD2 可以反映情绪的总体变异程度，SD1/SD2 反映情绪变化的复杂程度，SD1/SD2 越大，情绪变化越复杂。

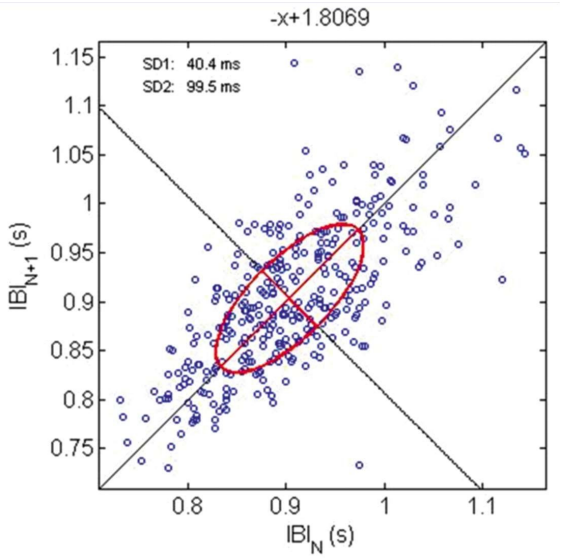


图 5 Poincare 散点图

Fig.5 Poincare Plot

综上所述，HRV 分析中时域指标 SDNN、频域指标 LF/HF、非线性指标 SD1/SD2 均可以用来感知被测对象的情绪。经过多次测试，本文设计的情绪感知系统最终选取了适合本系统的频域指标 LF/HF 作为度量标准。

2.3 刺激程序模块

运行在 PC 机上，提供诱导被测对象情绪改变的程序。刺激程序分为 7 个阶段：基线测试（阶段 1）- 任务 1（阶段 2）- 静息（阶段 3）- 任务 2（阶段 4）- 静息（阶段 5）- 任务 3（阶段 6）- 静息（阶段 7），每个步骤持续两分钟。任务 1 是 Stroop 任务，要求被测对象说出文字的颜色，忽略文字本身的意思。任务 2 是数学运算任务，要求被测对象以 1081 为基数，逐次进行减 7 运算，并报出计算结果。任务 3 是应激事件回顾任务，要求被测对象回忆过去发生的一件应激或压力事件，尽可能会想起所有细节，并逐一描述。这 3 个任务的选择依据是郑璞等[27]的情绪诱发的方法设计的。任务 1、任务 2 是在典型的认知任务中，融入了诱发情绪的视觉、听觉刺激材料[28]。任务 3 是通过让被测对象回忆某一情境来达到情绪内部诱发的目的[29]。该系统设计的任务难度适用于 7 到 12 周岁儿童。

2.4 系统流程图

如图 6 所示，使用者穿戴好设备后，按照 PC 机上软件提示依次进行每个阶段的测试，该系统在每个阶段进行独立采样分析。知道所有任务完成后，把使用者的检测结果保存到数据库中。

2.5 系统测试

基于上述研制的便携式儿童情绪能力感知系统，对两名测试对象进行了测试。被测对象根据刺激程序依次完成基线测试、Stroop 任务、静息、数学运算任务、静息、应激事件回顾任务、静息七个部分，每个部分分别记录两位被测对象在完成过程中的 LF/HF 值。

3 系统测试结果及讨论

测试结果如表 2 所示，可以看出：进行任务 1 时的 LF/HF 值高于基线和休息 1 时；进行任务 2 时的 LF/HF 值高于休息 1 和休息 2 时；进行任务 3 时的 LF/HF 值高于休息 2 和休息 3 时。休息 1、休息 2 和休息 3 时的 LF/HF 值略高于基线，体现了任务结束后被测对象的情绪平复过程。另外，不同被测对象的基线值有个体差异，但是每个被测对象各自的变化趋势明显。可见，LF/HF 能较好的反映出被测对象情绪的变化，证明了本文提出的便携式情绪感知系统的可靠性。

本系统的进一步提高空间在于实现移动窗口的 HRV 动态监测，实时感知被测对象的情绪。目前的系统是基于正常儿童展开的，但最终目的是基于该理论和原理形成一套可用于评估

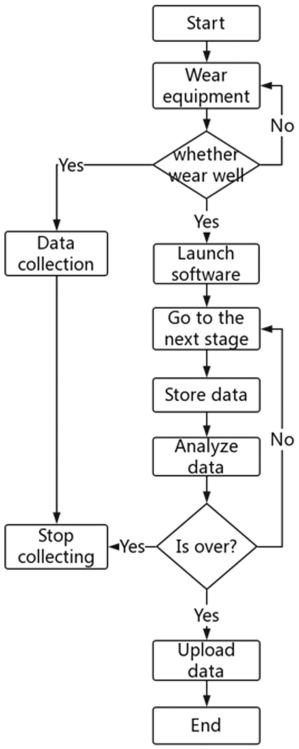


图 6 系统流程图

Fig.6 Flow Chart

表 2 测试结果

Table 2 Test Results

Subject number	1	2
Baseline	0.333	0.116
Task one	2.157	0.738
Rest one	0.548	0.53
Task two	2.558	0.564
Rest two	0.619	0.476
Task three	1.711	1.209
Rest three	0.709	0.778

孤独症儿童情绪的系统。孤独症谱系障碍(ASD)是一种起源于儿童早期,对儿童成长有着严重不良影响的广泛性发育障碍的统称。由于 ASD 成因尚不明确,而且个体差异很大,所以没有特效药物可以治疗[30]。目前对于 ASD 仍以特殊教育训练和行为训练为主。由于 ASD 儿童自身的情绪特点和训练方法的局限,训练过程中,难以准确把握 ASD 儿童的情绪变化。而本文设计研究的系统具有情绪感知的能力,借助该系统能很好地注意到 ASD 儿童的情绪波动。因此,最终形成的应用于孤独症儿童情绪感知的系统,将具有一定的应用前景和价值。

4 结论

本文设计的基于心率检测的便携式情绪感知系统,借助心率变异性频域分析的方法,通过具有体积小巧、轻便、易携带等特征,有利于推广和使用。通过该情绪感知系统,可以检测儿童情绪能力发展是否正常本系统亦可用于辅助孤独症儿童情绪能力干预训练,记录训练过程中使用者的情绪变化。初步研究表明本系统的实用性及可靠性,具有一定的应用前景。

参 考 文 献(References)

[1] Ciarrochi J, Scott G, Deane F P, et al. Relations between social and emotional competence and mental health: A construct validation study [J]. Personality and Individual Differences, 2003, 35 (8): 1947-1963

[2] Neuhaus E, Bernier R, Beauchaine T P. Brief report: social skills, internalizing and externalizing symptoms, and respiratory sinus arrhythmia in autism[J]. J Autism Dev Disord, 2014, 44(3): 730-737

[3] 石磊, 孙朋, 庞宇, 等. 基于光电容积脉搏波描记法的心率变异性分析系统前端装置设计[J].生物医学工程学杂志, 2016, (1): 14-17
Shi Lei, Sun Peng, Pang Yu, et al. Design of a Front-end Device of Heart Rate Variability Analysis System Based on Photoplethysmography [J]. Journal of Biomedical Engineering, 2016, (1): 14-17

[4] 李章俊, 王成, 朱浩, 等. 基于光电容积脉搏波描记法的无创连续血压测量[J].中国生物医学工程学报, 2012, 31(4): 607-614
Li Zhang-jun, Wang Cheng, Zhu Hao, et al. The Research Progress of Non-Invasive and Continuous Blood Pressure Measurement Based on Photoplethysmography [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2012, 31(4): 607-614

[5] 张家盛, 张加岭, 禹东川, 等. 可穿戴式心率检测系统的设计[J].自动化与仪器仪表, 2015, (2): 107-108
Zhang Jia-sheng, Zhang Jia-ling, Yu Dong-chuan, et al. Design of a wearable heart rate detection system [J]. Automation & Instrumentation, 2015, (2): 107-108

[6] 朱逸, 湛萍, 王志刚, 等. 短时非线性方法用于心率变异性分析[J].中国生物医学工程学报, 2015, 34(2): 229-236
Zhu Yi, Zhan Ping, Wang Zhi-gang, et al. The application of short-term nonlinear methods to heart rate variability analysis [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2015, 34(2): 229-236

[7] 阎克乐, 张文彩, 张月娟, 等. 心率变异性在心身疾病和情绪障碍研究中的应用[J]. 心理科学进展, 2006, 14(02): 261-265
Yan Ke-le, Zhang Wen-cai, Zhang Yue-juan, et al. The application of heart rate variability to study psychosomatic disease and emotion disorder [J]. Advances in Psychological Science, 2006, 14 (02): 261-265

[8] 刘旭峰. 心率变异性等多项生理指标对情绪稳定性的评价研究[D]. 西安: 第四军医大学, 2002
Liu Xu-feng. Assessment study on multi-variables of physiology to emotional stability [D]. Xian: Fourth Military Medical University, 2002

[9] 姜媛, 林崇德. 运动员情绪调节心率变异性的影响因素[J].心理与行为研究, 2012, 10(6): 448-451
Jiang Yuan, Lin Chong-de. The influencing factors of heart rate variability on emotion regulation of athletes[J]. Studies of Psychology and Behavior, 2012, 10(6): 448-451

[10] Gianaros P J, Wager T D. Brain-Body Pathways Linking Psychological Stress and Physical Health [J]. Current Directions in Psychological Science, 2015, 24(4): 313-321

[11] Makovac E, Meeten F, Watson D R, et al. Alterations in Amygdala-Prefrontal Functional Connectivity Account for Excessive Worry and Autonomic Dysregulation in Generalized Anxiety

Disorder[J]. Biological Psychiatry, 2016, 80(10): 786-795

[12] Chreiteh S S, Belhage B, Hoppe K, et al. Sternal pulse rate variability compared with heart rate variability on healthy subjects [C]// Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE, 2014: 3394-3397

[13] Wong J S, Lu W A, Wu K T, et al. A comparative study of pulse rate variability and heart rate variability in healthy subjects [J]. Journal of Clinical Monitoring & Computing, 2012, 26(2): 107-114

[14] Blackford E B, Piasecki A M, Estepp J R, et al. Measuring pulse rate variability using long-range, non-contact imaging photoplethysmography [C]// International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE, 2016: 3930-3936

[15] Edahiro S, Maruta T, Negami M, et al. Spectral analyses of heart rate variability by acceleration plethysmography for diagnostic support of migraine: clinical research [J]. Neurological Disorders, 2015, 3 (2): 1000229

[16] Camm A J, Malik M, Bigger J T, et al. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology [J]. Circulation, 1996, 93(5): 1043-1065

[17] 王步青, 王卫东. 心率变异性分析方法的研究进展[J].北京生物医学工程, 2007, 26(5): 551-554
Wang Bu-qing, Wang Wei-dong. Research process of the methods for heart rate variability analysis [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2007, 26(5): 551-554

[18] 黄晓林. 心率变异性的分析方法研究[D]. 南京大学, 2009
Huang Xiao-lin. Research of the methods for heart rate variability analysis[D]. Nanjing University, 2009

[19] Kleiger R E, Stein P K, Bigger J T. Heart rate variability: measurement and clinical utility [J]. Annals of Noninvasive Electrocardiology, 2005, 10(1): 88-101

[20] Bigger J T, Fleiss J L, Steinman R C, et al. Frequency domain measures of heart period variability and mortality after myocardial infarction[J]. Circulation, 1992, 85(1): 164-171

[21] de Sá J C, Costa E C, Da S E, et al. Heart rate variability as a method of assessing the autonomic nervous system in polycystic ovary syndrome [J]. Revista Brasileira De Ginecologia E Obstetricia, 2013, 35(9): 421-426

[22] Dobrek Ł, Baranowska A, Skowron B, et al. Autonomic nervous system activity assessment by heart rate variability in experimental bladder outlet obstruction [J]. Advances in Hygiene & Experimental Medicine, 2013, 67: 221-228

[23] Yperzeele L, Van Hooff R, Nagels G, et al. Heart rate variability and baroreceptor sensitivity in acute stroke: a systematic review [J]. International Journal of Stroke Official Journal of the International Stroke Society, 2015, 10(6): 796-800

[24] 张文彩, 阎克乐, 路运青, 等. 不同心理刺激诱发的交感和副交感神经活动的比较[J]. 心理学报, 2007, 39(2): 285-291
Zhang Wen-cai, Yan Ke-le, Lu Yun-qing, et al. The Effect of Different Psychological Stressors on Responses of Sympathetic and Parasympathetic Nervous Systems [J]. Acta Psychologica Sinica, 2007, 39(2): 285-291

[25] 洪必莹, 何森, 陈晓平. 心率变异性研究进展 [J]. 华西医学, 2013, (4): 614-618
Hong Bi-ying, He Sen, Chen Xiao-ping. Research process of heart rate variability[J]. West China Medical Journal, 2013, (4): 614-618

[26] Brennan M, Brennan M, Brennan M, et al. Poincaré Plot Methods for Heart Rate Variability Analysis[M]. Springer US, 2013

[27] 郑璞, 刘聪慧, 俞国良. 情绪诱发方法述评[J].心理科学进展, 2012, 20(1): 45-55
Zheng Pu, Liu Cong-hui, Yu Guo-liang. An overview of mood-induction methods [J]. Advances in Psychological Science, 2012, 20 (1): 45-55

[28] 谢韵梓, 阳泽. 不同情绪诱发方法有效性的比较研究[J]. 心理与行为研究, 2016, 14(5): 591-599
Xie Yun-zi, Yang Ze. A Comparative Study on the Validity of Different Mood Induction Procedures [J]. Studies of Psychology and Behavior, 2016, 14(5): 591-599

[29] Garcia R G, Valenza G, Tomaz C A, et al. Relationship between carsiac vagal activity and mood congruent memory bias in major depression[J]. Journal of Affective Disorders, 2015, 190: 19-25

[30] Yumei Wan, Qiang Hu, Ting Li, et al. Prevalence of autism spectrum disorders among children in China: a systematic review [J]. Shanghai Archives of Psychiatry, 2013, 25(2): 70-78

（上接第 2108 页）

Xu Lan-ying, Liu Jian-xun, Chang Zhan-jun, et al. The antibody persistence after immunisation with hepatitis B vaccine combined with different doses of hepatitis B immunoglobulin among infants born by HBsAg positive mothers: a three-year following-up study[J]. Modern Preventive Medicine, 2017, 44(7): 1205-1207

[17] 邓小莉, 张琴. 2015 年 xx 市学龄前儿童乙肝疫苗接种免疫效果分析[J].健康前沿, 2016, (9): 6
Deng Xiao-li, Zhang Qin. Analysis of immunization effect of hepatitis B vaccine for preschool children in XX City in 2015 [J]. Jian Kang Qian Yan, 2016, (9): 6

[18] 邓智标,黎子辉,麦贤昌.佛山市成人乙型肝炎感染现状分析及对策[J].中国实用医药, 2016, 11(9): 18-20
Deng Zhi-biao, Li Zi-hui, Mai Xian-chang. Analysis and countermeasure of adult hepatitis B infection condition in Foshan city [J]. China Practical Medical, 2016, 11(9): 18-20

[19] 赵颖. 儿童乙肝疫苗接种最佳时间的研究[J].中国民康医学, 2015, (23): 104-105
Zhao Ying. Study on the best time of vaccination for hepatitis B vaccine in children [J]. Medical Journal of Chinese People's Health, 2015, (23): 104-105

[20] 鲍春, 陈德黎, 王秀华, 等. 儿童乙型肝炎病毒疫苗免疫效果监测及强化免疫最小年龄探讨[J].实用预防医学, 2017, 24(4): 394-396
Bao Chun, Chen De-li, Wang Xiu-hua, et al. Surveillance on effectiveness of hepatitis B virus vaccination in children and discussion on the earliest boosting age [J]. Practical Preventive Medicine, 2017, 24(4): 394-396