



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115998259 A

(43) 申请公布日 2023.04.25

(21) 申请号 202310048880.9

(22) 申请日 2023.01.11

(71) 申请人 南京大学

地址 210093 江苏省南京市鼓楼区汉口路
22号

(72) 发明人 何爱军 张文翔 杭奕溢

(51) Int. Cl.

A61B 5/00 (2006.01)

A61B 5/0205 (2006.01)

A61B 5/349 (2021.01)

A61M 21/02 (2006.01)

权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54) 发明名称

基于HRV的生物反馈训练系统

(57) 摘要

本发明为基于HRV的生物反馈训练系统,包含数据采集、数据处理和反馈训练模块。数据采集模块采集心电和呼吸信号,数据处理模块计算出相应的生理指标。反馈训练模块包含静息反馈训练模块和压力反馈训练模块,静息反馈训练可以引导受训者调节心绪和呼吸,帮助受训者掌握自我调节的技巧。压力反馈训练模块结合语音听力模拟出压力场景,相比于市面上主流的静息场景下的反馈训练,可以更加有效地帮助受训者提高压力场景下的多任务表现,以取得更好的成绩。两种训练模式相辅相成,对于缓解压力、调节情绪,提高生活质量具有重要意义。



1. 基于HRV的生物反馈训练系统,其特征在于:所述系统包括数据采集模块、数据处理模块以及生物反馈训练模块,生物反馈训练模块包含静息反馈训练和压力反馈训练两种模式,采集模块同时采集用户心电信号和呼吸信号,数据处理模块从采集到的信号中提取相应的生理指标,如IBI、HRV、生物反馈得分等,用户自主选择静息反馈训练模式或者压力反馈训练模式,进行反馈训练。

2. 根据权利要求1所述基于HRV的生物反馈训练系统,其特征在于,所述数据采集模块采用ADS1292采集芯片,使用三个导联,可同时采集心电、呼吸两种生理电信号,具备精度高、功耗低的特点。

3. 根据权利要求1所述基于HRV的生物反馈训练系统,其特征在于,所述系统数据处理模块对采集到的心电和呼吸信号,进行实时处理,由心电信号实时计算出IBI和HRV生理指标;由呼吸信号实时计算出生物反馈得分。

4. 根据权利要求1所述基于HRV的生物反馈训练系统,其特征在于,所述反馈训练模块包括静息场景下的反馈训练和压力场景下的反馈训练,在压力场景下的反馈训练开始之前,应当让受训者先进行静息场景下的反馈训练,通过呼吸训练,让受训者掌握自主调节技巧。

5. 根据权利要求1所述基于HRV的生物反馈训练系统,其特征在于,所述静息反馈训练模块包含一个独立的程序模块,主界面包含IBI实时曲线、HRV实时曲线以及一个圆形动画,动画中的圆形可以收缩和扩张,频率等于所要训练的呼吸频率,用户可以在界面上直接设置呼吸频率;

所述静息反馈训练步骤包括:

用户设置好呼吸的频率,根据界面上的圆形动画来调整自己的呼吸节奏,当动画中圆形收缩时,用户吐气,当动画中圆形扩张时,用户吸气;

呼吸训练同时,观察界面上实时IBI和HRV波形;

设置不同的呼吸频率,重复训练,使得IBI波形更加规律、HRV曲线上升的呼吸频率更趋近于训练的目标,多次反复训练,寻找用户理想的HRV。

6. 根据权利要求1所述基于HRV的生物反馈训练系统,所述压力反馈训练模块包含一套完整的训练方案,其特征在于引导受训者进行英语听力测试,听力设置难度梯度,共分为3个等级,并且根据所答题目的总得分来量化受训者的表现,听力的同时,实时获取用户的生理信号,计算生物反馈得分;在受训者的听力耳机中添加噪声,噪声的大小由反馈得分实时调整,当听力难度增加,受训者心理压力增大,反馈得分降低,听力耳机中的噪声会增大,受训者为了获得更好的表现,必须自主调整,如深呼吸,缓解压力,降低听力中的噪声。

7. 根据权利要求1所述基于HRV的生物反馈训练系统,其特征在于,所述生物反馈得分表示受训者当前生理状态和目标生理状态的匹配程度,其计算主要依赖于呼吸信号的功率谱,针对呼吸信号的特点,可以采用短时傅里叶变换(short-time Fourier transform, STFT)获得其频域特性,其核心思想是在傅里叶变换之前先乘上窗函数 $h(t)$ 其计算公式如下:

$$STFT(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(\tau - t)e^{-j2\pi f\tau} d\tau$$

呼吸信号也可以看作是含噪周期信号,因此也可以采用自相关分析处理方法,其公式

如下：

$$\rho_x(\tau) = \frac{E[(x_i - \mu)(x_{i+\tau} - \mu)]}{\sigma^2}$$

其中 x_i 为信号时间序列， $x_{i+\tau}$ 为平移 τ 个单位的时间序列， μ 为均值， σ^2 为方差；

整体处理为先对时域内的呼吸信号维护一个动态窗口，每隔一定时间，对窗口内的数据进行处理，获取其功率谱，再对功率谱曲线求积分，将目标呼吸频率(每分钟4-12)之外区域和目标呼吸频率内的区域分别积分，并且求比值，最后将比值归一化到0至1范围内，作为反馈输入参数。

8. 根据权利要求1所述基于HRV的生物反馈训练系统，其特征在于，其数据采集模块和数据处理模块之间采用有线串口通信或无线蓝牙通信，自定义通信协议，并且上位机可以发送指令更改嵌入式硬件设置，保证了系统的安全和便捷。

基于HRV的生物反馈训练系统

技术领域

[0001] 本发明属于生理学生物反馈系统领域,特别是涉及一种多场景下生物反馈训练系统。

背景技术

[0002] 现代社会的繁忙、快节奏,使得心理健康问题发病率日益提高,心理健康问题日益突出。传统的咨询心理医生或者药物治疗,存在诸多不合理性,比如压力评估时采用问卷或者咨询,过度依赖患者的主观性,同时会使患者面临隐私泄露的问题;此外,采用药物治疗,除了价格昂贵,往往还伴随着副作用。与传统治疗方法相比,生物反馈治疗方法,不仅成本低廉,并且对患者没有副作用,因而,在许多国家,尤其是发达国家,生物反馈已经被引入了临床治疗,并且其有效性在多方面得到证实。

[0003] 生物反馈被描述为“心理生理学的镜子”,允许患者监测和学习身体产生的生理信号。在一些精神疾病,如焦虑、抑郁和精神分裂等,已经被证明其疗效。一般而言,生物反馈是训练用户利用反馈信息,正确地调整或控制自己的躯体功能,用户通过不断训练得以康复。

[0004] 心脏是人体的重要器官,心率对个体的健康具有重大影响。个体的心率适应于身体对氧气的需要,会由个体运动、休息以及其它活动水平促成。此外,紧张性刺激也会引起心率的波动,由肾上腺素和皮质醇的释放引起,并且伴随着心率增加的是到肌肉系统的血流的改向、脂肪到血流中的释放以使用作能量、呼吸速率的增加、肌肉紧张以及血液凝固能力的增加。在一些场景中,这些反应是有益的,如战斗或者逃跑,但对于个体的日常生活中所带来的压力,这些反应是负面的,甚至会严重影响个体的健康。

[0005] 基于心电信号的生物反馈训练方法是根据人体自主神经的交感神经增强,迷走神经减弱来研究不良情绪和精神压力。人体自主神经功能的变化主要靠HRV来反映,HRV的高低与迷走感神经活性成正比。自主神经调控着人们的心肺系统、消化系统和泌尿系统。通过三大系统的运行状态可以推断自主神经系统的状态。此外,三大系统中,心肺系统有其独特的运行规律,其运行节律易于测量,呼吸节律易于控制。因而,我们可以监测心肺系统的运行状态来推断自主神经调控状态,再通过对呼吸的调节,引导自主神经的调控节律至规律的方向。

[0006] 研究表明,静息HRV较高的个体在不同的任务中往往表现出更好的持续注意力、工作记忆以及认知灵活性。此外,静息HRV较高的个体,在应对压力场景时,往往具备更积极的情绪唤醒和更好的调节与反应。目前,大多数研究都专注于静息HRV对于认知控制和情绪调节的作用,却忽视了压力场景下HRV的作用,而在一些复杂场景下,尤其是需要执行参与的压力源下,压力场景HRV的研究才是首选。

发明内容

[0007] 本发明提供了一种基于HRV的生物反馈训练系统,旨在解决传统医疗对心理疾病

治疗的经济成本高、压力评估不准确等问题,并且对当前基于HRV的生物反馈训练主要集中在静息HRV的现状做了思考与优化,补充了一种压力场景下的生物反馈训练方案。

[0008] 为达成所述目的,本发明提供一种一种基于HRV的生物反馈训练系统,包括数据采集模块、数据处理模块以及生物反馈训练模块,生物反馈训练模块包含静息反馈训练和压力反馈训练两种模式。采集模块同时采集用户心电信号和呼吸信号,数据处理模块从采集到的信号中提取相应的生理指标,如IBI、HRV、生物反馈得分等。用户自主选择静息反馈训练模式或者压力反馈训练模式,进行反馈训练。

[0009] 优选地,数据采集模块采用ADS1292采集芯片,使用三个导联,可同时采集心电、呼吸两种生理电信号,具备高精度、低功耗的特点。

[0010] 优选地,数据处理模块对采集到的心电和呼吸信号,进行实时处理,由心电信号实时计算出IBI和HRV生理指标;由呼吸信号实时计算出生物反馈得分。

[0011] 优选地,反馈训练模块包括静息场景下的反馈训练和压力场景下的反馈训练,在压力场景下的反馈训练开始之前,应当让受训者先进行静息场景下的反馈训练,通过呼吸训练,让受训者掌握自主调节技巧。

[0012] 优选地,静息反馈训练模块包含一个独立的程序模块,主界面包含IBI实时曲线、HRV实时曲线以及一个圆形动画,动画中的圆形可以收缩和扩张,频率等于所要训练的呼吸频率,用户可以在界面上直接设置呼吸频率。

[0013] 所述静息反馈训练步骤包括:

[0014] 用户设置好呼吸的频率,根据界面上的圆形动画来调整自己的呼吸节奏,当动画中圆形收缩时,用户吐气,当动画中圆形扩张时,用户吸气;

[0015] 呼吸训练同时,观察界面上实时IBI和HRV波形;

[0016] 设置不同的呼吸频率,重复训练,使得IBI波形更加规律、HRV曲线上升的呼吸频率更趋近于训练的目标,多次反复训练,寻找用户理想的HRV。

[0017] 优选地,压力反馈训练模块包含一套完整的训练方案,其特征在于引导受训者进行英语听力测试,听力设置难度梯度,共分为3个等级,并且根据所答题目的总得分来量化受训者的表现。听力的同时,实时获取用户的生理信号,计算生物反馈得分;在受训者的听力耳机中添加噪声,噪声的大小由反馈得分实时调整,当听力难度增加,受训者心理压力增大,反馈得分降低,听力耳机中的噪声会增大,受训者为了获得更好的表现,必须自主调整,如深呼吸,缓解压力,降低听力中的噪声。

[0018] 优选地,生物反馈得分表示受训者当前生理状态和目标生理状态的匹配程度,其计算主要依赖于呼吸信号的功率谱。针对呼吸信号的特点,可以采用短时傅里叶变换(short-time Fourier transform,STFT)获得其频域特性,其核心思想是在傅里叶变换之前先乘上窗函数 $h(t)$ 其计算公式如下:

$$[0019] \quad STFT(t, f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(\tau)h(\tau-t)e^{-j2\pi f\tau} d\tau$$

[0020] 呼吸信号也可以看作是含噪周期信号,因此也可以采用自相关分析处理方法,其公式如下:

$$[0021] \quad \rho_x(\tau) = \frac{E[(x_t - \mu)(x_{t+\tau} - \mu)]}{\sigma^2}$$

[0022] 其中 x_i 为信号时间序列, $x_{i+\tau}$ 为平移 τ 个单位的时间序列, μ 为均值, σ^2 为方差。

[0023] 整体处理为先对时域内的呼吸信号维护一个动态窗口,每隔一定时间,对窗口内的数据进行处理,获取其功率谱,再对功率谱曲线求积分,将目标呼吸频率(每分钟4-12)之外区域和目标呼吸频率内的区域分别积分,并且求比值,最后将比值归一化到0至1范围内,作为反馈输入参数。

[0024] 优选地,数据采集模块和数据处理模块之间采用有线串口通信或无线蓝牙通信,自定义通信协议,并且上位机可以发送指令更改嵌入式硬件设置,保证了系统的安全和便捷。

[0025] 本发明基于HRV的生物反馈训练系统具备如下优点:

[0026] 本发明提出的基于HRV的生物反馈训练系统是一种数字医疗产品,相比于传统的治疗方法,具备多种优势。传统的治疗过程中,患者往往由于隐私或者主观上的不自觉自我美化表达而干扰医生的判断,本发明的生物反馈训练系统通过生理指标评估压力,有效地缓解了此类问题;传统的药物治疗往往伴随着的副作用,而本发明的生物反馈训练系统对身心安全;另外,本发明的生物反馈训练系统降低了医药费用,经济上更为亲民。

[0027] 此外,与一般的生物反馈训练系统相比,本发明的生物反馈系统包含了压力场景下的生物反馈训练。在心理诊疗方面,大多数研究者都聚焦于静息场景下的生物反馈训练,对压力场景下的生物反馈训练研究较少。实际上,对于情绪调节和缓解压力,压力场景下的生物反馈训练才是首选,可以更加有效地帮助受训者缓解焦虑,提高表现。

附图说明

[0028] 图1是基于HRV的生物反馈训练系统架构图。

[0029] 图2是采集器连接图。

[0030] 图3是心电波群图。

具体实施方式

[0031] 下面将结合附图对本发明加以详细说明,应指出的是,所描述的实例仅旨在便于对本发明的理解,而不起任何限定作用。

[0032] 如图1所示,基于HRV的生物反馈训练系统包括数据采集模块、数据处理模块以及生物反馈训练模块,生物反馈训练模块又分为静息反馈训练模块和压力反馈训练模块。使用三个生物电极,接在人体左胸、右胸和右腹部,如图2所示,就可以实时采集到心电和呼吸信号。数据采集模块和数据处理模块之间通过USB串口通信或者无线蓝牙通信进行数据传输,数据处理模块对采集到的生理电信号进行处理,得到实时IBI、HRV、以及生物反馈得分等参数。IBI和HRV通过显示界面的波形图来呈现,生物反馈得分通过压力训练时耳机中的噪声大小来呈现。

[0033] 数据采集模块:硬件采集器选用ADS1292芯片作为采集芯片,ARM作为主控芯片,上位机软件可以通过串口通讯协议向采集器发送指令,对采集器进行一些必要的硬件设置,如采样率设置、增益设置、导联脱落检测。

[0034] 数据处理模块:将由采集器得到的心电信号和呼吸信号分别进行处理,得到所需要的生理参数指标。HRV,即心率变异性,是指瞬时心率随时间的变化。心电信号往往包含一

组波群,如图3所示,主要由QRS波群、P波、T波,有些情况下在T波之后会有一个U型波出现。在由心电信号获取瞬时心率时,从心电信号中提取R波,相邻两个R波之间的时间间隔,称为RR间期,即参数IBI,用RR间期的倒数表示瞬时心率。因而,对心电信号处理的核心算法是R波检测的算法,可以采用差分阈值法。差分阈值法是一种适合于对实时性较高的心电信号QRS波检测的快速算法,其基本原理是:由于QRS波是心电信号波形变化最剧烈的地方,其波形的上升斜率或是下降斜率与其他波形相比有显著不同,所以可以通过检测心电信号序列对时间的导数,即斜率的变化情况来检测R波的位置。通常在R波的上升沿和下降沿是是心电波形斜率变化最大的区域,在这范围内出现的一阶导数过零点,二阶导数极值点,即我们所要检测的R波位置。通过多滤波后的心电信号进行一阶差分或二阶差分并结合确定的阈值,检测出R波。对呼吸信号的处理结果主要是反馈得分。反馈得分表示受训者当前生理状态和目标生理状态的匹配程度。其处理算法主要是维护一个一定时间长度的窗口,如30秒,每隔固定时间间隔处理一次窗口内的数据,计算出呼吸信号的功率谱,对功率谱曲线求积分,将目标呼吸频率(每分钟4-12)之外区域和目标呼吸频率内的区域分别积分,并且求比值,最后将比值归一化到0至1范围内,作为反馈输入参数。

[0035] 静息反馈训练模块:主要包含一个训练辅助软件和一个训练方法。辅助软件界面显示HRV实时曲线和IBI实时曲线。此外,还包含一个辅助训练动画,即一个会收缩和扩张的圆形,辅助训练动画的收缩和扩张速率与呼吸率同步,呼吸率可以在软件界面上手动调整。

[0036] 进一步,静息反馈训练模块的训练具体过程为:

[0037] 步骤一:让受训者处于安静平稳状态,并且将采集器接到受训者身上;

[0038] 步骤二:从软件向采集器发送指令,设置好采样率、增益等必要硬件参数;

[0039] 步骤三:在软件的静息反馈训练模块,设置好目标HRV范围,选择所需要训练的呼吸率;

[0040] 步骤四:受训者根据辅助训练动画,进行呼吸控制训练,当辅助训练动画中的圆形收缩时,受训者吐气,当辅助训练动画中圆形扩张时,用户吸气,循环反复一段时间;

[0041] 步骤五:改变呼吸率,再次重复步骤四,并且关注HRV和IBI实时曲线,HRV曲线越大的呼吸率更趋近于我们的训练目标。多次重复,寻找受训者理想的呼吸率。

[0042] 压力反馈训练模块:主要是一套压力反馈训练方法。采用播放听力理解来构建一个压力场景,可以从听力的语速、内容上来为听力划分多个难度梯度,从而构建压力场景的压力梯度。另外,通过对听力内容设置一定的选择题,选择题的正确率可以有效量化受训者在压力场景下的表现。与此同时,对受训者进行生理参数的实时监测,获取其实时反馈得分,反馈得分作为听力的输入参数之一,控制听力中人为添加的噪声的大小。当听力内容的难度增加,受训者所感压力增加,受训者如果出现生理上紧张等反应,受训者的实时反馈得分会降低,从而致使听力耳机中的噪声增加,受训者要人为进行生理情绪上的自我调节,降低压力情绪,从而使反馈得分上升,噪声减少,从而可以获得更好的听力环境,提升压力场景下的表现。

[0043] 进一步,压力场景下的反馈训练具体过程为:

[0044] 步骤一:将采集器接到受训者身上,并且给受训者带上听力设备;

[0045] 步骤二:从软件向采集器发送指令,设置好采样率、增益等必要硬件参数;

[0046] 步骤三:播放听力,与此同时,让受训者自我调节的同时答题;

[0047] 步骤四:改变听力难度,重复步骤三;

[0048] 步骤五:统计各对应难度下答题的正确率,量化受训者的表现;

[0049] 无论是静息场景下的生物反馈训练还是压力场景下的生物反馈训练,都应当要坚持长期治疗,并且每次训练时间不宜过短。另外,在压力场景下的生物反馈训练之前,应当对受训者先进行静息场景的生物反馈训练,让受训者提前掌握一些自我调整的技巧,从而提高其压力场景下的任务表现。

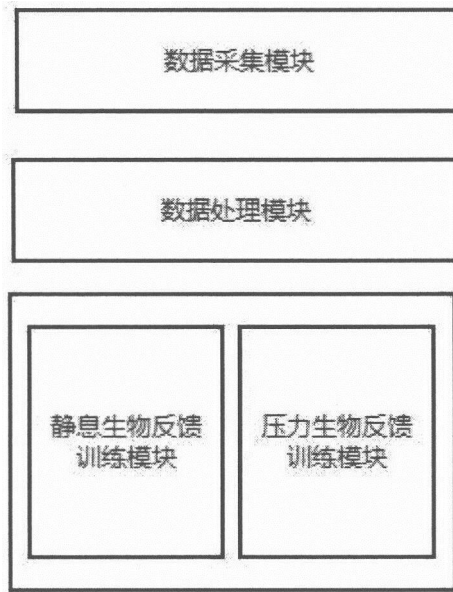


图1

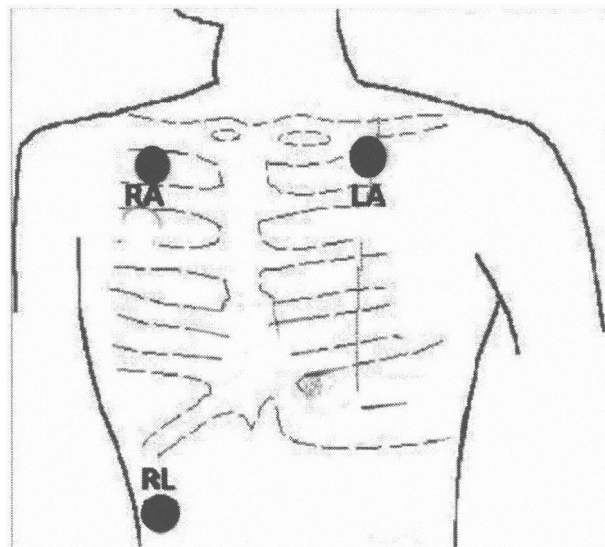


图2

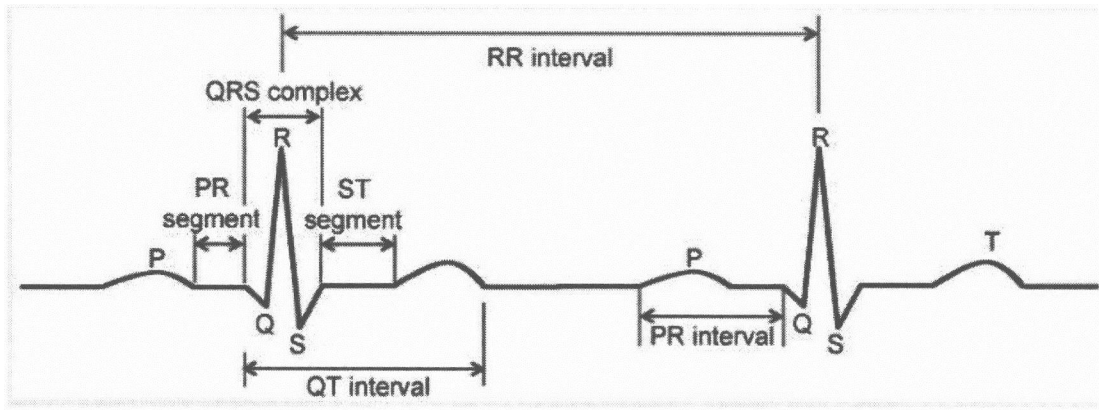


图3