

# 心理压力的测量方法及新技术<sup>\*</sup>

严璘璘<sup>1</sup> 骆 宏<sup>2\*\*</sup> 危 静<sup>2</sup> 傅根跃<sup>3</sup> Kang Lee<sup>4</sup>

(1. 浙江理工大学心理学系, 杭州 310018; 2. 杭州师范大学附属医院, 杭州 310015; 3. 杭州师范大学, 杭州 311121; 4. 多伦多大学, 安大略省 M5R2X2, 加拿大)

**摘要** 心理压力影响人们的工作绩效, 也是心血管疾病、焦虑抑郁障碍等疾病形成的主要原因。本文综述了认知评估、情绪反应、应激激素和心血管反应四类测量方法及优缺点, 并介绍了一项实时远程监测心理压力水平变化的血谱成像技术。该技术通过摄像机远程实时记录和分析面部皮下血红蛋白含量变化, 进而准确获得个人心率变异性等各种反映心理压力的指标。该技术能够更为广泛地应用于医学、心理学、营销学等科学的研究和实践应用领域。

**关键词** 血谱成像技术 血红蛋白含量 心理压力 心率变异性

**中图分类号:**B849 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-6020(2019)-01-0032-16

## 1 引言

根据 Regus 于 2012 年针对全球 80 个国家和地区的 1.6 万名职场人士的调查结果显示, 75% 的中国内地上班族认为压力高于过去一年, 远远超出全球的平均值 48%。中国是目前世界上受心理压力困扰人群最多的国家(Regus, 2012)。所谓心理压力(mental stress), 医学上也称为心理应激, 即当外界压力超过人体适应能力时, 人体在心理和生理上发生系统性综合反应。这些反应不仅包括压力源所诱发的人体不舒适感(perceived aversiveness)和不可控性

(uncontrollability), 也包括激活自主神经系统(autonomic nervous system, ANS)和边缘系统—下丘脑—垂体—肾上腺(hypothalamic-pituitary-adrenal, HPA)轴调控下的血压、心率、呼吸、激素分泌等多重生理变化(Ulrich-Lai & Herman, 2009; Fink, 2016)。适度的心理压力有助于人们提高工作绩效、更好地适应环境。然而, 高强度的心理压力则引起人体产生明显的应激反应, 持续的应激状态不仅会诱发高血压、心肌缺血和梗死等生理疾病(Schoenthaler & Rosenthal, 2018; Steptoe & Kivimaki, 2012; Xu et al. 2015), 而且容易诱发认知功能障碍(Shansky & Lipps, 2013)、抑郁和焦虑等

\* 基金项目: 获浙江省公益技术应用国际合作项目 LGJ19C090001 资助。

\*\* 通信作者: 骆宏, 男, 杭州师范大学附属医院主任医师, e-mail: luohong@vip.126.com。

心理障碍疾病(Maercker et al., 2013)。因此,可靠且有效地测量和评估心理压力可预防并控制人们因高强度压力所诱发的相关疾病,而且在治疗过程中能够起到指导作用。

一般来说,现有测量方法主要通过测量人体在不同压力下的心理感受和生理信号变化评估个体心理压力水平。在心理学研究领域,自我报告式的问卷或量表测验是心理压力测评的传统方法,该方法是主观测评方法,仅在一定程度上反映了个体心理压力。随着生理信号检测技术的应用,人体心理压力的系统性变化得以客观体现。在应对压力事件时,个体自主神经系统诱发心跳加速、呼吸加深、皮肤末梢血管收缩、血压升高、肾上腺素分泌等生理反应,随后副交感神经和HPA轴则通过调节肾上腺素、皮质醇等应激激素合成和分解将身体状态调整到平静状态或平衡状态(即心率减慢、呼吸变浅、皮肤末梢血管舒张等,Ulrich-Lai & Herman,2009)。考虑到人体的自主神经系统和HPA轴共同调节身体的血压、心率、呼吸、激素分泌等来应对外部环境的压力,那么这些应激激素和心血管反应等测量能客观实时地反映个体的心理压力变化。

本文将先简述现有的心理压力测量方法及其优缺点,然后重点介绍面部血谱成像技术的基本原理及其在心理压力测评中的关键性诊断指标,最后展望该新技术在科学的研究和实际应用领域的优势和潜力。

## 2 现有的心理压力测量方法及指标

本节将从心理和生理两个方面来介绍反映个体心理压力变化的测量方法和敏感性指标。从心理角度来看,现有心理压力的测量方法及指标侧重于个体的认知评估

(cognitive appraisal)和情绪反应(affective response)。从生理角度来看,现有心理压力的测量方法及指标主要是受HPA轴和自主神经系统调节的个体应激激素(stress hormones)含量和心血管反应(cardiovascular response)变化的测量。

### 2.1 心理角度的测量方法

#### 2.1.1 认知评估测量

认知评估是个体评估压力的心理过程。按照压力来源分,现有心理压力研究主要采用两类认知评估测量。第一类主要为特定压力源评价测量的单项问题量表(Ad Hoc Single-Item Measures)和多项问题量表(Multiple-Item Scales)。这些量表主要是为特定压力研究设计的,例如,特定人群对特定压力源的预期心理应激的压力评估测量(Stress Appraisal Measure, SAM)(Peacock & Wong, 1990)。该方法简单易操作,但测量指标很容易受到测试偏差、受试者个人因素和所处情境的干扰。第二类为个人在普遍情境下压力程度或生活事件的自我报告量表(Life Events Scales, Wethington, 2016)。在普遍情境下,测量的是当面对生活压力时个人综合反应的认知评估,例如压力知觉量表(Perceived Stress Scale, PSS)(Cohen, Towbes, & Flocco, 1988)、日常困扰事件的困扰量表(Hassles Scale)(Kanner, Coyne, Schaefer, & Lazarus, 1981)。此类方法获得大量支持性证据(例如,Wethington, 2016; Shields & Slavich, 2017),但是对压力和心理症状之间的区分效度不足。按照评估者来源分,除了自我报告式的问卷或量表测验以外,现有心理压力研究还有基于访谈的生活压力测量(interview-based approaches),例如生活压力事件与困境的访谈调查(Life Events and Difficulties Schedule)(Beards et al., 2013)。此类方法有明确的事件定义及访谈标准,

但测量较为复杂耗时。

### 2.1.2 情绪反应测量

情绪反应是指个体在应对压力的瞬间或一段时间的情绪反应或情绪状态的主观体验。在特定时间发生的压力事件与个人当时所产生的情绪有明显的关系,而且个体对该压力事件的应对会影响个人当日和之后几日的情绪(Frison & Eggermont, 2015)。按情绪维度来分,现有心理压力研究主要采用两类情绪反应测量方法。第一类从情绪的结构方面(如愤怒、正负性情绪)来测量个人的情绪反应,例如,正负性情感量表(Positive Affect-Negative Affect Schedule)(Andreotti et al., 2013)。第二类从情绪的强度方面来测量个人的情绪反应,例如,可视化测量情绪强度的情绪方格(Affect Grid, Russell & Gobet, 2012)。按评估者来源分,除了自我报告式的问卷或量表测验外,现有心理压力研究还有他人情绪观察法(observational methods),如基于观察者的受试者情绪反应报告和面部表情分类等。

综上,心理压力的认知评估测量和情绪反应测量以自我报告式问卷或量表测量为主,个别的方法基于专家访谈调查。这类方法的优点是:操作方便、快捷且成本低(Shields & Slavich, 2017)。但是心理压力是人和环境的一种特殊关系,因此个人因素(如人格特质、认知风格、价值观、当前情绪状态等)与环境因素(如压力源类型、强度等)均影响个体对心理压力的认知评估。因此,这类方法的缺点也比较鲜明(Monroe, 2008; Shields & Slavich, 2017)。第一,测量结果易受个体因素影响。这些测量基于个人对生活压力事件或情绪等抽象概念的主观看法,结果会伴随不同的个体对抽象概念或量化标准理解差异而有所不同。第二,测试结果不能直接进行比较。特定

情境下和普遍情境下的测量往往在题目设定和评分标准方面各不相同,测量结果无法进行系统化、结构化对比。第三,测试结果的时效性差。这些测量大多为个人对自身在一段时间内的压力和情绪等的评估,因此无法实时反映个体心理压力变化。

## 2.2 生理角度的测量方法

### 2.2.1 应激激素测量

应激激素泛指在个体遇到压力事件之后,自主神经系统和HPA轴调节身体应对压力时所分泌的肾上腺素等生物化学代谢物。目前广泛应用于人体心理压力研究的激素主要包括儿茶酚胺(catecholamines,包括肾上腺素和去甲肾上腺素)和糖皮质激素(glucocorticoids,在动物中称皮质酮,在人体中称皮质醇)(Chandola, Heraclides, & Kumari, 2010; Lovallo & Thomas, 2016)。接下来针对这两类激素的取样、保存、测量以及在心理压力研究中的应用进行比较。在取样方面,皮质醇分子量较小且脂溶性高,所以很容易扩散到唾液。因此,皮质醇可通过血样、尿样、唾液以及毛发来获得,肾上腺素和去甲肾上腺素仅能通过血样和尿样来获得。在保存方面,除了皮质醇在常温下相对稳定,肾上腺素和去甲肾上腺素需要保存在-20~-70摄氏度的冰箱。在测量方面,一般通过放射免疫分析仪或高效液相层析仪等专业生化分析仪测量。在应用特性方面,血样中的肾上腺素和去甲肾上腺素的半衰期很短(1~3分钟),两类激素的水平反映了交感神经活动的急性状态,该指标仅适用于急性压力研究(Berne & Levy, 1983; Johansson & Frankenhausen, 1973)。而尿样中两类激素及其代谢物相对稳定,反映了个体数小时前的压力体验,该指标仅适用于慢性压力研究(Powell et al., 2002; Steptoe, 1987)。皮质醇的半衰期较长(大约为70分钟)且人体分泌有明显

的昼夜节律(通常健康人早晨6~8点清醒时皮质醇水平位于顶峰并大约在午夜时到达最低值,Kudielka et al.,2012),因此皮质醇测量的时间窗很重要(Edwards,Clow,Evans,& Hucklebridge,2001)。其中,头发中的皮质醇含量反映了取样前数周到数月的应激和社交情境的影响(Dettenborn,Tietze,Kirschbaum,& Stalder,2012;Staufenbiel et al.,2013),因此仅适用于慢性压力研究(Wosu et al.,2013;2015;Russell et al.,2015)。唾液中的皮质醇总量和皮质醇水平变化(主要通过计算应激前皮质醇基线值、应激后20min值和应激后40min值的差异来体现)在不同时间、不同应激源和不同人群中具有高度的一致性(Khoury et al.,2015),因此该指标适用于急性和慢性压力研究。

综上,心理压力的应激激素测量主要集中在儿茶酚胺和糖皮质激素这两类的激素测量。此类方法的优点:客观且量化地反映个体心理压力的变化。但是该类方法易受所选取的激素特性、提取来源等因素的影响(Lovallo & Thomas,2016)。因此,该类方法的缺点为:(1)取样难度较大且部分取样手段所产生的压力易与应激任务的压力混淆。除了唾液和尿样以外,血样的提取需要专业技术人员操作且静脉取血,此操作本身易引起应激反应(Weckesser et al.,2014)。(2)样品保存要求较高。这些激素的半衰期较短,在常温下激素含量会发生明显变化。(3)样品测量成本较高。这些样品大多通过放射免疫分析仪或高效液相层析仪等专业生化分析仪测量,这些设备及耗材价格昂贵。

## 2.2.2 心血管反应测量

心血管反应泛指个体在遇到压力事件后,心脏及血管(包括动脉、静脉及微血管)在应对压力时产生一系列心率、心输出量、

心搏量等综合变化。这种综合变化受到交感神经系统及体内应激激素的调控,可准确反映人体心理压力的变化。心理压力的心血管反应具有情境特异性。例如,在应对危险而需要个体唤醒度高时,心率和收缩压明显上升;在探测危险而需要个体安静和注意力集中时,心率会暂时下降,心输出量减少等。接下来先介绍心血管反应测量的方法和优缺点,再列举此类方法获得的关键心理压力指标。

### (1) 心血管反应测量方法

目前测量心血管反应的仪器主要是医用的心电描记仪和光电容积描记仪。心电描记法(electrocardiography,ECG或EKG)基于心脏收缩和舒张变化时的心肌细胞去极化会在皮肤表面产生微弱的电流变化,通过实时捕捉且放大人体肢体端和胸部皮肤的电生理信号变化,并根据这些变化描记出相应的心电曲线图。光电描记法(photoplethysmograph,PPG)基于人体活性组织和全血对红外线和近红外线的不同穿透性,通过实时描计人体的指端(或耳垂、鼻端、前额等)的光学变化信号获取外周血管的血液容量随心脏搏动而产生的变化(Elgendi,2012)。不同于ECG,PPG测量仅获取外周血流变化来推测心血管反应,精确性比ECG测量低。尤其在低体温等情况下,人体血液流至外周肢体端明显减少,PPG无法探测到可靠的心脏脉动性变化。

综上,上述两种测量手段均可测得不同压力状态下的心血管反应变化。心血管反应测量方法的优点:客观、量化、实时地反映个体心理压力的变化。但是该类方法易受仪器本身采样位置和特性的影响。其缺点在于:(1)测量技术要求高且成本高。心血管反应测量的设备为医用专业仪器,不仅需要专业医学训练的人员记录信号和分析,而且设备和耗材价格昂贵。(2)测量

情境受限制。心血管反应测量的设备体型笨重,且连接在人体上的传感器和数据线繁多,无法在日常工作、学习以及特殊作业环境下测量。(3)无法避免测量自身产生的压力反应。心电信号测量需要通过医务人员或专业人员将电极安放在身体胸口和肢体端来获得,无法避免胸口电极放置和“白大褂效应”产生的心理压力(Lantelme et al.,1998)。

## (2) 心理压力关键指标

虽然这两类方法提取心血管反应信号的位置不同,但是均可获得心率变异性(heart rate variability, HRV)。心率变异性

指窦性心律的波动变化程度,受到交感神经系统和副交感神经系统的双重调节,可有效地反映个体在不同压力下的心血管反应变化(Thayer et al.,2012; Reyes del Paso et al.,2013),因此广泛用于临床心血管疾病诊断(庾焱,2001)、情绪障碍(阎克乐等,2006)以及心理压力研究(Castaldo et al.,2015)。现有的心理压力研究发现,通过心动周期邻近两个R波间隔(图1)的变化计算所得的时域、频域、非线性特征能反映个体在不同任务中的心理压力变化(Castaldo et al.,2015; Thayer et al.,2012)。

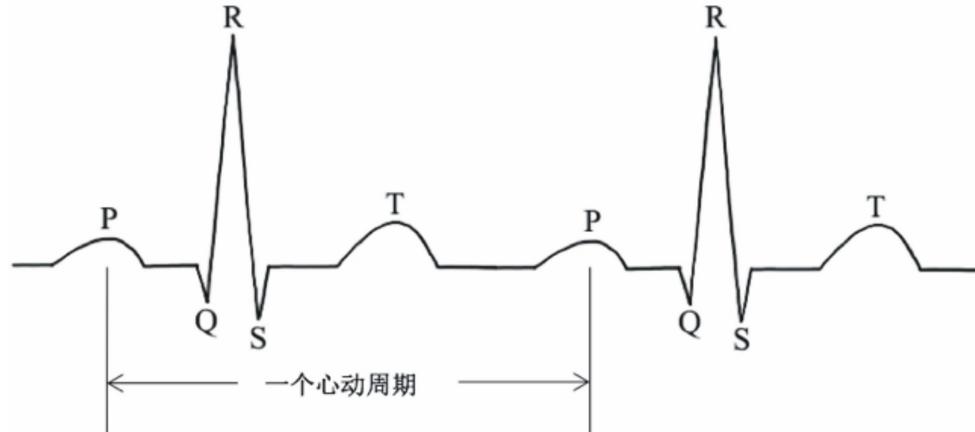


图1 心动周期示意图

**时域特征:**多项心理压力研究(Visnovcova et al.,2014; Castaldo et al.,2015)的时域分析表明,相较于平静状态下,人体在压力状态下R-R均值(测量期间的R-R均值)、pNN50(相邻R-R间期大于50ms的个数占测量期间R-R间期总数的比例)、RMSSD(相邻R-R间期差值的均方根)和SDNN(Standard Deviation of Normal to Normal,也称SDRR,即测量期间平均R-R间期的标准差)普遍表现为下降趋势。这意味着,R-R均值等这些时域特征可以作为心理压力变化的探测性指标。

**频域特征:**目前用于心理压力研究(Castaldo et al.,2015)的频域分析参数主要是低频信号(LF,0.04~0.15Hz)、高频

信号(HF,0.15~0.40Hz)以及低高频功率的比值(LF/HF)。这三类参数分别反映了交感神经和副交感神经对个体生理状态的不同作用,下面作具体说明。(a) LF一般反映交感和副交感神经的复合调控功能。LF能指示心理压力的有无,但无法明确心理压力变化的方向,因为它在现有研究中存在相反的趋势(Castaldo et al.,2015)。其中,五项研究发现在压力状态下LF升高,三项研究则发现在压力状态下LF下降。(b) HF通常反映了副交感神经的活性,随着压力的升高,HF数值下降。(c) LF/HF反映了交感神经和副交感神经的平衡,随着压力的升高,LF/HF的数值升高。这意味着,人体的HF和LF/HF的频域特

征也可以作为心理压力变化的探测性指标。

**非线性特征:**目前用于心理压力研究的非线性分析方法各不相同,主要有Poincaré 散点图(Poincaré plot)(Brennan, Palaniswami, & Kamen, 2001)、近似熵计算(approximate entropy)(Yentes, Hunt, Schmid, Kaipust, McGrath, & Stergiou, 2013)、关联维数计算(correlation dimension)(Faust & Bairy, 2012)、去趋势波动分析(detrended fluctuation analysis, Penzel et al., 2003),递归图(recurrence plot)(Zbilut, Thomasson, & Webber, 2002)等。目前心理压力研究(Castaldo et al., 2015)中重复出现的非线性参数为D2和 $\alpha_1$ ,但两者指示的压力趋势并不稳定,下面作具体说明。(a)D2指标:通过关联维数计算获得,用于估计时间序列自由度数的维度复杂性。研究发现,相较于平静状态,人们在压力状态下D2均表现出明显的下降。(b) $\alpha_1$ 指标:通过去趋势波动分析获得,用于量化心动周期时间序列的分形相关特性的存在与否。研究发现, $\alpha_1$ 时而随着压力升高而上升,时而随着压力升高而下降。因此,仍需要大量实证研究去探究非线性分析方法获得的心理压力探测指标的稳定性和可靠性。

### 3 心理压力测量新方法——远程无接触式血谱成像技术

尽管上述的心血管反应测量和相关指标能够客观、量化、实时、无创地反映个体心理压力变化,但是专业医用设备及传感器所带来的接触式测量仍使得个体心理压力测试情境受到极大的限制。Shi等人(2010)首次引入无接触式光电描记法

(PPG)并验证了人体生理信号无接触监测的可行性。Cennini等人(2010)结合双通道无接触式PPG和动作伪迹降低技术,实现了30cm以外远程实时的心率监测。在经历了接触式到无接触式的转变后,随着高清数码相机的普及和图像处理技术的发展,面部血流成像和定位技术使得个人指端或耳部的点式测量转变为面部多区域测量。大量研究者致力于开发血谱成像技术及相应的诊断指标,以期远程、无接触、实时且有效地测量人体的心理压力变化,广泛应用于科学的研究和实践应用领域(Sun & Thakor, 2016; Lee & Zheng, 2016; Lee & Zheng, 2017)。接下来,我们将介绍远程无接触式血谱成像技术的基本原理及其在心理压力研究中的关键性诊断指标。

#### 3.1 基本原理

血谱成像技术(transdermal optical imaging, TOI)作为一项新颖无接触的生理信号检测技术,它采用高清数码摄像机远程实时捕获面部的视频图像,通过机器学习算法获取面部皮肤下的血红蛋白含量变化,进而获得个人的心率、心率变异性等各种反映心血管反应的生理指标。该技术的基本原理是:面部皮肤下有血红蛋白(hemoglobin)和黑色素(melatonin)两类具有不同颜色特征的发色团(Lister, Wright, & Chappell, 2012)。光照透过皮肤在富含血红蛋白和黑色素的不同皮层形成不同波长的反射光,高清数码摄像头可以敏锐地捕获皮下两类发色团的光谱变化(图2)。通过机器学习算法将富含血红蛋白区域的图像和富含黑色素区域的图像分离,最终获得反映皮肤下血红蛋白浓度变化的多个图像的位面集。

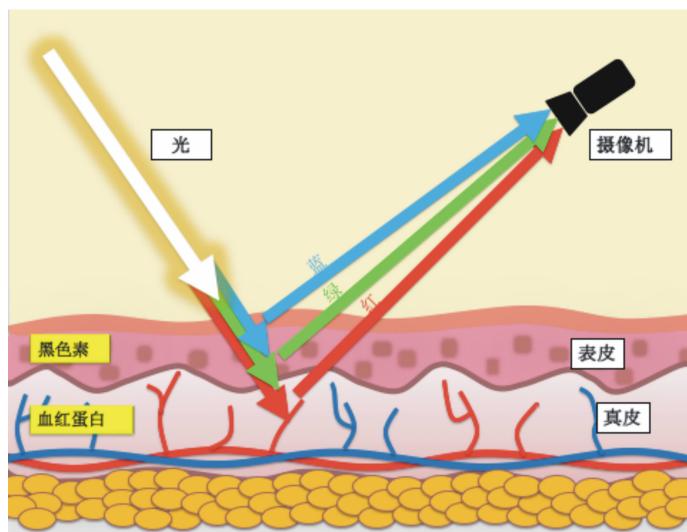


图 2 皮肤结构及血谱成像技术(TOI)的基本原理(Wei et al., 2018)

面部大部分区域(例如,面颊以及下巴)中的血流主要由交感神经血管扩张神经元控制,而鼻子中的血流主要由交感神经血管收缩神经元控制;相反,前额区域中的血流由交感神经血管扩张和副交感神经血管扩张二者进行神经支配。考虑到自主神经系统所控制的面部血液流动不易服从意识控制,因此能反映皮肤下血红蛋白浓度变化的血谱成像提供了探测压力状态下个体的生理信号(如,心率、呼吸频率、血

压、血氧指数等)。此外,人体面部的不同部分在不同情境下具有不同的空间和时间激活模式(Alkawaz et al., 2015)。因此,从面部血谱成像技术可以提取各个特定面部区域中的面部血红蛋白浓度变化,然后将来自个体的这些多维和动态数据阵列与基于规范数据的计算模型进行比较,可以推断个体的内在情绪状态(如,情绪类别、情绪效价、情绪强度等,图 3)。

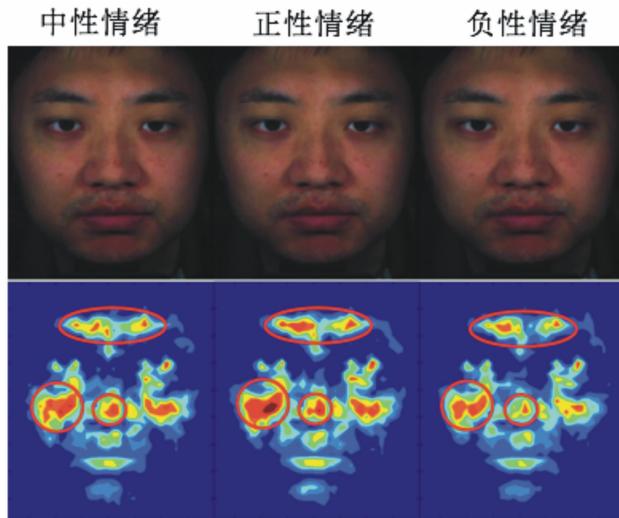


图 3 不同情绪状态下面部不同区域的血谱成像(Lee & Zheng, 2016)

### 3.2 血谱成像数据的处理和分析

不同于专业医用设备(如,PPG)直接获取的生理信号波形图,血谱成像技术获取的生理信号仍包含在一组原始图像序列中。在比较和分析个人的心理压力变化之

前,一系列数据处理和信号提取的步骤仍需要完成,例如,面部兴趣区(Region of Interest,ROI)的选取和追踪、颜色通道选择、信号降噪处理和生理信号提取等。以下为各个步骤的简要操作流程。

### 3.2.1 面部兴趣区的选取和追踪

从实时记录的视频中提取血谱成像信号,面部兴趣区的选取和追踪是获取可靠信号的关键步骤。通常有以下几种方法:(a)人工选择。只要视频开始记录面孔,我们就可以采用固定尺寸的区域作为整个视频的兴趣区(Kong et al., 2013)。虽然这种兴趣区的选取很方便,但是通常这种情况要求被试在视频记录过程中保持头部不动。(b)基于Viola-Jones面部探测器(VJ face detector)的自动选择。Poh等人(2010,2011)基于面部探测器在每一帧视频自动选取并定位兴趣区。值得注意的是,这种面部探测器主要是通过正面面孔进行训练的,因此当面孔位置偏离正面呈现时那些帧视频的兴趣区定位缺失。(c)基于加速鲁棒特征(SURF)的自动化探测。Feng等人(2015)结合VJ面部探测器和SURF探测器来提高兴趣区选择的准确性。不同于整张面孔的选取,他们选取面孔两颊区域作为兴趣区,因为这两个区域相较于面孔其他区域具有较高的信噪比(SNR)。

### 3.2.2 颜色通道选择

通常,数码摄像机具有红色、绿色和蓝色(RGB)三个颜色通道。血红蛋白的光吸收随着光谱发生变化(见图2),因此选择不同颜色通道获得的生理信号存在差异。(a)绿色通道。Verkruyse等人(2008)发现在正常光照条件下,光学描记信号在RGB摄像机的三个颜色通道中有着不同的强度。虽然红色和蓝色通道也能获取生理信号,但是绿色通道的生理信号幅度更强且噪音更弱。自此之后,一些关于脉率信号的研究会采用绿色通道作为生理信息的主要来源(Matsumura, Rolfe, Lee, & Yamakoshi, 2014; Scully et al., 2012)。(b)RGB通道。Poh等人(2010,2011)采用独立成

分分析(ICA)将RGB通道形成线性组合。ICA输出成分的非高斯性最大化,那么线性组合系数就可估计。因为来自不同颜色通道的生理信号具有类似的动态调整,那么选择三个颜色通道获得的生理信号并辅以ICA方法可以弱化动作伪迹并提高生理信号的准确估计。(c)RGBCO通道。McDuff等人(2014)采用了具有五种颜色通道(红、绿、蓝、青、橙)的数码单镜头反射摄像机。考虑到这会有更多的噪音源,那么颜色通道的选择就可以允许更多的观察值,信号源的选择具有更多的灵活性。

### 3.2.3 信号降噪处理

在生理信号提取前,还需要作降噪处理。通常来说,健康成人的心率位于每分钟40~240次,若超出这个范围之内的信号将被阻断。一些滤波器在生理信号提取前作降噪处理,如移动平均滤波器(Poh et al., 2011)、带通滤波器(Verkruyse et al., 2008)、适应性带通滤波器(Wang, Stuijk, & De, 2015)和小波降噪器(Ju, Qian, & Ye, 2013)等。

### 3.2.4 生理信号提取

在信号降噪之后,有两种方法可以用于生理信号的提取。(a)启发式方法。McDuff等人(2014)采用时域脉搏峰值探测法,即通过移动式窗口作局部最大值探测。如果移动窗口内的最大值大于前一个窗口的值,那么选择后一个窗口的最大值作为峰值;如果移动窗口内的最大值小于前一个窗口的值,那么前一个窗口的最大值作为峰值;该探测过程不断重复。然而,这种方法只会影响脉搏峰值的幅度,但忽略了脉率波形的时间规律,因此容易受到动作诱发的干扰。另一种启发式方法是将脉率信息转化为频域,可以提供基本的生理信号,例如心率和RR间期。考虑到脉率信号是周期性信号,心率对应的频域峰值应该

在 40~240 次/分的频段。(b) 基于学习的方法。Hsu 等人(2014)采用支持性向量回归技术进行脉率探测。简单来说,首先估计三种频域特征,包括 R、G、B 通道的空间平均频谱幅度、ICA 处理的独立成分的频谱幅度和基于色度的脉搏信号的频谱幅度。通过多特征融合和支持向量回归,与启发法相比,这种方法具有较高的估计精度。

### 3.3 心理压力测量中的诊断性指标

面部血谱成像技术可远程、无接触、实时获取面部血流变化信息(如,面部不同区域的血红蛋白含量变化),通过机器学习提取个体的心率以及基于心率的心率变异性相关的时域、频域和非线性等反映心理压力变化的指标(如,非线性指标 SD1/SD2,时域、频域及非线性的心理压力综合指标)。这些指标不仅用于验证面部血谱成像技术在心血管反应测量的准确性和可靠性,而且也是目前能稳定反映心理压力变化的三个心血管反应测量中的关键指标。为了考察面部血谱成像技术在心理压力测量上的准确性,笔者所在的研究团队同时测量并比较健康成人在安静状态下的面部血流成像数据(TOI)和 BIOPAC 系统采集的心电数据中的心率、SD1/SD2、综合时域、

频域及非线性的心率变异性综合指标,发现来自两种方法的测量具有明显的一致性和相关性(Wei et al., 2018)。接下来对这三个指标的提取过程和比较分析作简单介绍。

#### 3.3.1 心率指标

首先,使用机器学习算法对每个被试的视频进行滤波处理,滤除具有黑色素浓度变化的图像并获取具有血红蛋白浓度变化的图像(详见 Lee & Zheng, 2016; Lee & Zheng, 2017)。接着,将面部多个区域的数据做平均化处理来降低信噪比。然后通过应用 Hilbert-Huang 转换来获取 TOI 信号的关键频率成分,在此基础上获得心率和 R-R 间隔的数据(Li et al., 2011)。接着比较 TOI 和 BIOPAC 在测量心率信号之间的一致性和相关性。笔者所在的研究团队发现,通过 TOI 获得的 R-R 间期计算所得的心率变化与 BIOPAC 系统获得的心率存在正相关(心率的相关系数  $r = 1.00$ , 见图 4)(Wei et al., 2018)。因此,面部血谱成像技术获取的血红蛋白含量变化可稳定可靠地反映人体的心率信号,进而用于其他心率变异性指标的分析。

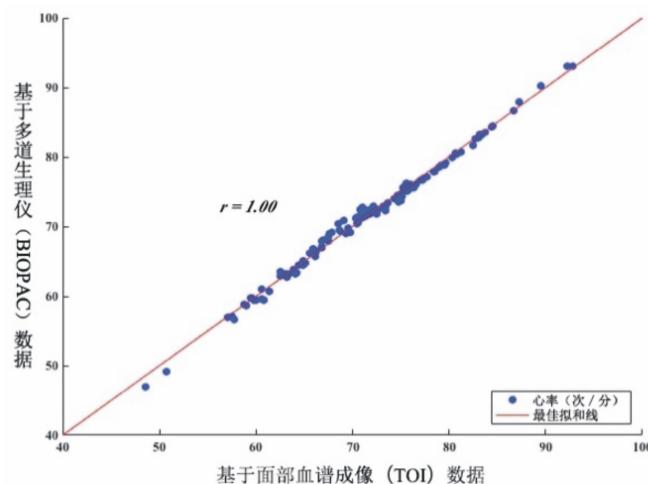


图 4 多通道生理仪和面部血谱成像仪所测量的心率相关图(Wei et al., 2018)

#### 3.3.2 SD1/SD2 指标

SD1/SD2 指标通过 Poincaré 散点图

(见图 5)(Brennan, Palaniswami, & Kamen, 2001; Hoshi, Pastre, Vanderlei, & Godoy,

2013)获得。以第  $n$  个 R-R 间期为横坐标, 第  $(n+1)$  个 R-R 间期为纵坐标, 将测试期间所有的 R-R 间期绘制成散点图。其中, SD1 即散点垂直于 45 度角直线方向的离

散程度, 计算公式为  $SD1 = \frac{\sqrt{2}}{2} SD(RR_n - RR_{(n+1)})$ , 反映了由呼吸性窦性心律导致的心率的短期变异程度, 是副交感神经系统激活程度的指标。SD2 即散点沿着 45 度角方向的离散程度, 计算公式为  $SD2 =$

$$\sqrt{2SD(RR_n)^2 - \frac{1}{2}SD(RR_n - RR_{(n-1)})^2}, \text{ 反}$$

映了心率的长期变异程度, 主要反映了交感和副交感神经系统对心脏的影响。Wei 等人(2018)发现, 通过 TOI 获得的 R-R 间期计算所得的 SD1/SD2 变化与 BIOPAC 系统获得的 SD1/SD2 存在正相关 (SD1/SD2 的相关系数  $r = 0.89$ , 见图 6), 而且当个体心理压力越高, SD1/SD2 数值越高。因此, SD1/SD2 的比例变化动态反映了交感和副交感两个系统之间此消彼长的关系, 可以作为个体心理压力状态的指标。

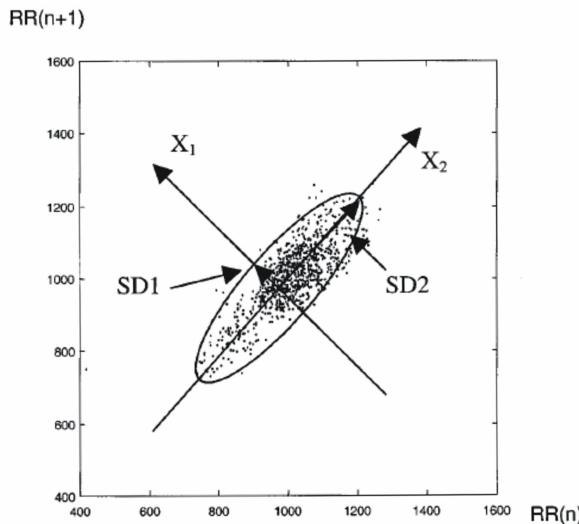


图 5 Poincaré 散点图 (Brennan et al. ,2001)

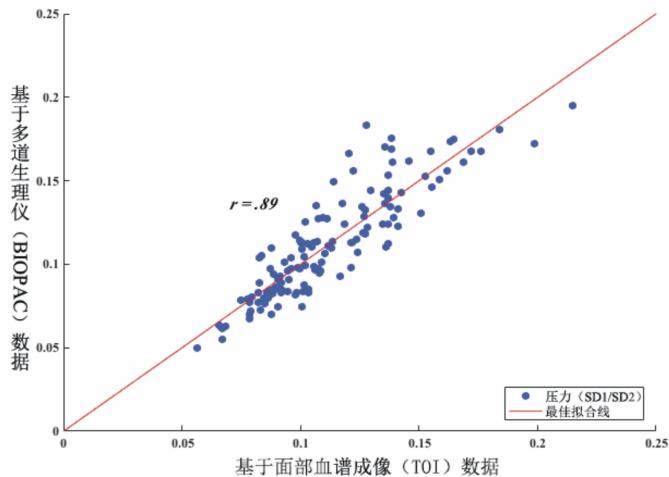


图 6 多通道生理仪和面部血谱成像仪所测量的压力 SD1/SD2 相关图 (Wei et al. ,2018)

### 3.3.3 时域、频域及非线性的心理压力综合指标

正如上文所述, 心率变异性包含大量的时域、频域以及非线性特征, 它们反映了

交感神经和副交感神经对个体生理心理状态的不同调节作用。因此, 选择在以往研究 (Castaldo et al. , 2015) 中能准确预测心理压力变化的时域指标 (R-R 均值、SDRR、

RMSSD 和 pNN50)、频域指标 (HF 和 LF/HF) 以及非线性指标 (D2 和 SD1/SD2) 作为心理压力综合指标, 笔者所在的研究团队通过比较分析 1000 余人的 TOI 和 BIOPAC 两类系统获得的心理压力综合指标, 发现通过 TOI 获得的心理压力综合指标与 BIOPAC 系统获得的心理压力综合指

标存在正相关 (心理压力综合指标的相关系数  $r = 0.94$ , 图 7), 而且个体心理压力越高, 时域、频域及非线性的心理压力综合指标数值越高。因此, 综合了时域、频域及非线性参数特征的心理压力综合指标可以作为反映个体心理压力动态变化的有效指标。

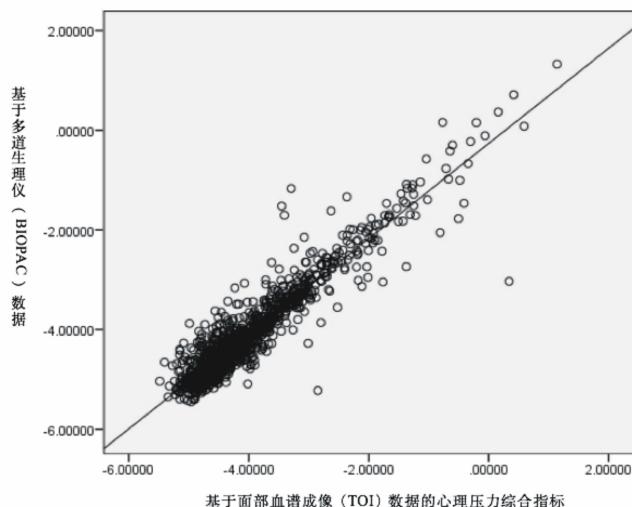


图 7 多通道生理仪和面部血谱成像仪所测量的心理压力综合指标相关图

#### 4 小结与展望

本文综述了认知评估、情绪反应、应激激素和心血管反应测量四类心理压力测评方法及优缺点, 并介绍了一项可实时远程监测人体心理压力水平变化的面部血谱成像技术。该技术可提供以血红蛋白浓度变化为基础的人体生理心理状态的检测, 其远程、无接触等特点在心理学、医学、特殊行业等有广阔的应用前景。

在科学研究领域上, 该技术可用在认知情绪、神经科学、教育评估等研究中。心理学家等可通过该技术实时检测由视觉、嗅觉、味觉、前庭感觉等引起的生理心理变化, 与磁共振脑成像 (MRI)、近红外成像仪 (NIRS) 等系统相耦合, 分离皮质中枢神经系统和自主神经系统所生成的生理信号, 深入探究个体在各种情境下的脑神经活动和内在情感状态变化。教育工作者可通过

该技术来探测真实教学环境下学生关于教学主题、方法等的生理心理变化, 进而完善教学主题、方法等来提高学生的学习积极性和学习效果。

在实践应用领域上, 该技术可用于医疗、特殊作业、刑事部门、人力资源、市场营销等各行各业。医生、心理学家、精神病学家等可以使用该技术来实时测量患者内心的心理压力以提供更好的治疗等。公众运输、军事机构等可使用该技术来实时远程地监测驾驶员、飞行员、士兵等执行特殊作业的人群所感受的心理压力以及疲劳程度, 合理地调整这些人员的工作。国土安全以及地方警察可使用该技术来探测可疑人员和嫌疑犯的异常压力变化和情绪反应。人力资源部门可使用该技术来监测员工的心理压力变化并及时提供员工关爱计划。企业可使用该技术测量潜在用户在评估产品原型、价格、体验及购买意愿等不同阶段的生理心理变化, 进而调整新产品投

放市场前的产品设计、市场定价、客户挖掘等销售策略。

尽管该技术在以上领域拥有较为广阔的应用前景,但是通过血谱成像技术来获取生理信号前的数据分析和处理环节中存在较多的不可控因素(如,面部兴趣区的选取和追踪、颜色通道的选择、信号降噪处理等),还没有形成标准化的可控信息处理模式。例如,面部兴趣区域的选取。人体面部不同区域在不同情境下具有不同的空间和时间激活模式,那么不同时间点选择不同的面部兴趣区可能会有截然不同的信号模式。因此,该技术若要广泛且可靠地应用于心理学、医学、特殊行业等不同领域中,仍需要在相应情境状态下形成特定的标准化信息处理和信号提取模式。

## 参考文献

- 庹焱.(2001).心率变异性研究进展.国外医学生理、病理科学与临床分册,21(4),305–308.
- 阎克乐,张文彩,张月娟,封文波,袁立壮,王兰爽,唐一源.(2006).心率变异性在心身疾病和情绪障碍研究中的应用.心理科学进展,14(2),261–265.
- Alkawaz, M. H. , Mohamad, D. , Saba, T. , Basori, A. H. , & Rehman, A. (2015). The correlation between blood oxygenation effects and human emotion towards facial skin colour of virtual human. *3D Research*, 6(2), 13.
- Andreotti, C. , Thigpen, J. E. , Dunn, M. J. , Watson, K. , Potts, J. , Reising, M. M. , . . . Compas, B. E. (2013). Cognitive reappraisal and secondary control coping: Associations with working memory, positive and negative affect, and symptoms of anxiety/depression. *Anxiety, Stress, and Coping*, 26(1), 20–35.
- Beards, S. , Gayer-Anderson, C. , Borges, S. , Dewey, M. E. , Fisher, H. L. , & Morgan, C. (2013). Life events and psychosis: A review and meta-analysis.

- Schizophrenia Bulletin*, 39(4), 740–747.
- Berne, R. M. , & Levy, M. N. (1983). *Physiology*. St. Louis: Mosby, 290, pp. 1033–1068.
- Brennan, M. , Palaniswami, M. , & Kamen, P. (2001). Do existing measures of poincaré plot geometry reflect nonlinear features of heart rate variability? *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 48(11), 1342–1347.
- Castaldo, R. , Melillo, P. , Bracale, U. , Caserta, M. , Triassi, M. , & Pecchia, L. (2015). Acute mental stress assessment via short term HRV analysis in healthy adults: A systematic review with meta-analysis. *Biomedical Signal Processing and Control*, 18, 370–377.
- Cennini, G. , Arguel, J. , Aksit, K. , & van Leest, A. (2010). Heart rate monitoring via remote photoplethysmography with motion artifacts reduction. *Optics Express*, 18(5), 4867–4875.
- Chandola, T. , Heraclides, A. , & Kumari, M. (2010). Psychophysiological biomarkers of workplace stressors. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35, 51–57.
- Cohen, L. H. , Towbes, L. C. , & Flocco, R. (1988). Effects of induced mood on self-reported life events and perceived and received social support. *Journal of Personality and Social Psychology*, 55, 669–674.
- Dettenborn, L. , Tietze, A. , Kirschbaum, C. , & Stalder, T. (2012). The assessment of cortisol in human hair: associations with sociodemographic variables and potential confounders. *Stress*, 15(6), 578–588.
- Edwards, S. , Clow, A. , Evans, P. , & Hucklebridge, F. (2001). Exploration of the awakening cortisol response in relation to diurnal cortisol secretory activity. *Life Science*, 68, 2093–2103.
- Elgendi, M. (2012). On the analysis of fingertip photoplethysmogram signals. *Current Cardiology Reviews*, 8, 14–25.
- Faust, O. , & Bairy, M. G. (2012). Nonlinear analysis of physiological signals: A review. *Journal of Mechanics in Medicine and Biology*, 12 (4),

- 1240015.
- Feng, L. , Po, L. M. , Xu, X. , Li, Y. , & Ma, R. (2015). Motion-resistant remote imaging photoplethysmography based on the optical properties of skin. *IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology*, 25(5), 879 – 891.
- Fink, G. (2016). Chapter 1 - Stress, definitions, mechanisms, and effects outlined: Lessons from anxiety. *Stress: Concepts, Cognition, Emotion, and Behavior*. San Diego, Academic Press:3 – 11.
- Frison, E. , & Eggernmont, S. (2015). The impact of daily stress on adolescents' depressed mood: The role of social support seeking through Facebook. *Computers in Human Behavior*, 44, 315 – 325.
- Hoshi, R. A. , Pastre, C. M. , Vanderlei, L. C. , & Godoy, M. F. (2013). Poincaré plot indexes of heart rate variability: Relationships with other nonlinear variables. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 177(2), 271 – 274.
- Hsu, Y. C. , Lin, Y. L. , & Hsu, W. (2014). Learning-based heart rate detection from remote photoplethysmography features. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 4433 – 4437.
- Johansson, G. & Frankenhaeuser, M. (1973). Temporal factors in sympatho-adrenomedullary activity following acute behavioral activation. *Biological Psychology*, 1, 63 – 73.
- Ju, B. , Qian, Y. T. , & Ye, H. J. (2013). Wavelet based measurement on photoplethysmography by smartphone imaging. *Applied Mechanics & Materials*, 380, 773 – 777.
- Kanner, A. D. , Coyne, J. C. , Schaefer, C. , & Lazarus, R. S. (1981). Comparison of two modes of stress measurement: Daily hassles and uplifts versus major life events. *Journal of Behavioral Medicine*, 4, 1 – 39.
- Khoury, J. E. , Gonzalez, A. , Levitan, R. D. , Pruessner, J. C. , Chopra, K. , Basile, V. S. , . . . Atkinson, L. (2015). Summary cortisol reactivity indicators: Interrelations and meaning. *Neurobiology of Stress*, 2, 34 – 43.
- Kong, L. , Zhao, Y. , Dong, L. , Jian, Y. , Jin, X. , Li, B. , . . . Wu, H. (2013). Non-contact detection of oxygen saturation based on visible light imaging device using ambient light. *Optics Express*, 21(15), 17464 – 17471.
- Kudielka, B. M. , Gierens, A. , Hellhammer, D. H. , Wust, S. , & Schlötz, W. (2012). Salivary cortisol in ambulatory assessment-some dos, some don'ts, and some open questions. *Psychosomatic Medicine*, 74(4), 418 – 431.
- Lantelme, P. , Hugues, M. , Gharib, C. , Gayet, C. , & Fortrat, J. (1998). White coat effect and reactivity to stress: cardiovascular and autonomic nervous system responses. *Hypertension*, 31 (4), 1021 – 1029.
- Lee K. , & Zheng, P. , inventors; The governing council of the university of Toronto, assignee. System and method for detecting invisible human emotion. U. S. Patent No. US 2016/0098592A1. 2016 Apr 7. Toronto.
- Lee K. , & Zheng, P. Inventors: Nuralogix corporation, assignee. System and method for detecting physiological state. World Patent No. WO2017139895A1. 2017 Aug 24. Toronto.
- Li, H. , Kwong, S. , Yang, L. , Huang, D. , & Xiao, D. (2011). Hilbert-Huang transform for analysis of heart rate variability in cardiac health. *Transactions on Computational Biology and Bioinformatics*, 8(6), 1557 – 1567.
- Lister, T. , Wright, P. A. , & Chappell, P. H. (2012). Optical properties of human skin. *Journal of Biomedical Optics*, 17(9), 090901.
- Lovallo, W. R. , & Thomas, T. L. (2016). Stress hormones in psychophysiological research: Emotional, behavioral, and cognitive implications. in J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary, G. G. Bernston (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (pp. 342 – 367). Cambridge University Press.
- Maercker, A. , Brewin, C. R. , Bryant, R. A. , Cloitre, M. , Reed, G. M. , van Ommeren, M. , . . . Saxena, S. (2013). Proposals for mental disorders specifically associated with stress in the international

- classification of diseases – 11. *The Lancet*, 381 (9878), 1683 – 1685.
- Matsumura, K. , Rolfe, P. , Lee, J. , & Yamakoshi, T. (2014). Iphone 4s photoplethysmography: Which light color yields the most accurate heart rate and normalized pulse volume using the iphysiometer application in the presence of motion artifact? *Plos One*, 9(3), e91205.
- McDuff, D. , Gontarek, S. , & Picard, R. W. (2014). Improvements in remote cardiopulmonary measurement using a five band digital camera. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 61(10), 2593 – 2601.
- Monroe, S. M. (2008). Modern approaches to conceptualizing and measuring human life stress. *Annual Review of Clinical Psychology*, 4, 33 – 52.
- Peacock, E. J. , & Wong, P. T. P. (1990). The stress appraisal measure (SAM): A multi-dimensional approach to cognitive appraisal. *Stress Medicine*, 6, 227 – 236.
- Penzel, T. , Kantelhardt, J. W. , Grote, L. , Peter, J. H. , & Bunde, A. (2003). Comparison of detrended fluctuation analysis and spectral analysis for heart rate variability in sleep and sleep apnea. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50, 1143 – 1151.
- Poh, M. Z. , McDuff, D. J. , & Picard, R. W. (2010). Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation. *Optics Express*, 18(10), 10762 – 10774.
- Poh, M. Z. , McDuff, D. J. , & Picard, R. W. (2011). Advancements in noncontact, multiparameter physiological measurements using a webcam. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 58(1), 7 – 11.
- Powell, L. H. , Lovallo, W. R. , Matthews, K. A. , Meyer, P. , Midgley, A. R. , Baum, A. , . . . & Ory, M. G. (2002). Physiologic markers of chronic stress in premenopausal, middle-aged women. *Psychosomatic Medicine*, 64, 502 – 509.
- Regus. (2012). Work is primary source of stress for Asia-Pacific employees. SMB WORLD ASIA Business & Technology Portal for Asia's SMBs. [tps://www.enterpriseinnovation.net/article/work-primary-source-stress-asia-pacific-employees-163827708](http://www.enterpriseinnovation.net/article/work-primary-source-stress-asia-pacific-employees-163827708)
- Reyes del Paso, G. A. , Langewitz, W. , Mulder, L. J. , van Roon, A. , & Duschek, S. (2013). The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies. *Psychophysiology*, 50(5), 477 – 487.
- Richman, J. S. , & Moorman, J. R. (2000). Physiological time-series analysis using approximate entropy and sample entropy. *American Journal of Physiology Heart and Circulatory Physiology*, 278(6), H2039 – H2049.
- Russell, E. , Kirschbaum, C. , Laudenslager, M. L. , Stalder, T. , de Rijke, Y. , van Rossum, E. F. , . . . Koren, G. (2015). Toward standardization of hair cortisol measurement: Results of the first international interlaboratory round robin. *Therapeutic Drug Monitoring*, 37(1), 71 – 75.
- Russell, Y. I. , & Gobet, F. (2012). Sinuosity and the affect grid: A method for adjusting repeated mood scores. *Perceptual and Motor Skills*, 114(1), 125 – 136.
- Schoenthaler, A. M. , & Rosenthal, D. M. (2018). Stress and hypertension. In: A. Berbari, G. Mancia (Eds.), *Disorders of Blood Pressure Regulation* (pp. 289 – 305). Updates in Hypertension and Cardiovascular Protection. Springer, Cham.
- Scully, C. G. , Lee, J. , Meyer, J. , Gorbach, A. M. , Granquist-Fraser, D. , & Mendelson, Y. , & Chon, K. H. (2012). Physiological parameter monitoring from optical recordings with a mobile phone. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 59(2), 303 – 306.
- Shansky, R. M. , & Lipps, J. (2013). Stress-induced cognitive dysfunction: hormone-neurotransmitter interactions in the prefrontal cortex. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 123.
- Shi, P. , Peris, V. A. , Echiadis, A. , Zheng, J. , Zhu, Y. , Cheang, P. Y. S. , & Hu, S. (2010). Non-contact reflection photoplethysmography towards effective human physiological monitoring. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 30(3), 161 – 167.

- Shields, G. S. , & Slavich, G. M. (2017). Lifetime stress exposure and health: A review of contemporary assessment methods and biological mechanisms. *Social Personality Psychology Compass*, 11(8), e12335.
- Staufenbiel, S. M. , Penninx, B. W. , Spijker, A. T. , Elzinga, B. M. , & van Rossum, E. F. (2013). Hair cortisol, stress exposure, and mental health in humans: A systematic review. *Psychoneuroendocrinology*, 38(8), 1220–1235.
- Steptoe, A. (1987). The assessment of sympathetic nervous function in human stress research. *Journal of Psychosomatic Research*, 31, 141–152.
- Steptoe, A. , & Kivimaki, M. (2012). Stress and cardiovascular disease. *Nature Reviews Cardiology*, 9(6), 360–370.
- Sun, Y. , & Thakor, N. (2016). Photoplethysmography revisited: from contact to noncontact, from point to imaging. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(3), 463–477.
- Thayer, J. F. , Ahs, F. , Fredrikson, M. , Sollers III, J. J. , & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies: Implications for heart rate variability as a marker of stress and health. *Neuroscience and Biobehavioral reviews*, 36, 747–756.
- Ulrich-Lai, Y. M. , & Herman, J. P. (2009). Neural regulation of endocrine and automatic stress responses. *Nature Reviews Neuroscience*, 10, 397–409.
- Verkruyse, W. , Svaasand, L. O. , & Nelson, J. S. (2008). Remote plethysmographic imaging using ambient light. *Optics Express*, 16(26), 21434–21445.
- Visnovcova, Z. , Mestanik, M. , Javorka, M. , Mokra, D. , Gala, A. Jurko, . . . Tonhajzerova, I. . (2014). Complexity and time asymmetry of heart rate variability are altered in acute mental stress. *Physiological Measurement*, 35, 1319–1334.
- Wang, W. , Stuijk, S. , & De, H. G. (2015). Exploiting spatial-redundancy of image sensor for motion robust rPPG. *IEEE Transaction Biomedical Engineering*, 62(2), 415–425.
- Weckesser, L. J. , Plessow, F. , Pilhatsch, M. , Muehlhan, M. , Kirschbaum, C. , & Miller, R. (2014). Do venepuncture procedures induce cortisol responses? A review, study, and synthesis for stress research. *Psychoneuroendocrinology*, 46, 88–99.
- Wei, J. , Luo, H. , Wu, S. , Zheng, P. P. , Fu, G. & Lee, K. (2018). Transdermal optical imaging reveal basal stress via heart rate variability analysis: A novel methodology comparable to electrocardiography. *Frontiers in Psychology*, 9, 98.
- Wethington, E. (2016). Chapter 12-life events scale. In: G. Fink, *Stress: Concepts, cognition, emotion, and behavior*. San Diego, Academic Press: 103–108.
- Wosu, A. C. , Gelaye, B. , Valdimarsdottir, U. , Kirschbaum, C. , Stalder, T. , Shields, A. E. , & Williams, M. A. (2015). Hair cortisol in relation to sociodemographic and lifestyle characteristics in a multiethnic US sample. *Annals of Epidemiology*, 25, 90–95.
- Wosu, A. C. , Valdimarsdottir, U. , Shields, A. E. , Williams, D. R. , & Williams, M. A. (2013). Correlates of cortisol in human hair: Implications for epidemiologic studies on health effects of chronic stress. *Annals of Epidemiology*, 23, 797–811.
- Xu, X. , Bao, H. , Strait, K. , Spertus, J. A. , Lichtman, J. H. , D'Onofrio, G. , . . . Krumholz, H. M. (2015). Sex differences in perceived stress and early recovery in young and middle-aged patients with acute myocardial infarction. *Circulation*, 131(7), 614–623.
- Yentes, J. M. , Hunt, N. , Schmid, K. K. , Kaipust, J. P. , McGrath, D. , & Stergiou, N. (2013). The appropriate use of approximate entropy and sample entropy with short data sets. *Annals of Biomedical Engineering*, 41, 349–365.
- Zbilut, J. P. , Thomasson, N. , & Webber, C. L. (2002). Recurrence quantification analysis as a tool for nonlinear exploration of nonstationary cardiac signals. *Medical Engineering & Physics*, 24, 53–60.

# The Measurements of Mental Stress and New Methodologies

YAN Lin-lin<sup>1</sup> LUO Hong<sup>2</sup> WEI Jing<sup>2</sup> FU Gen-yue<sup>3</sup> LEE Kang<sup>4</sup>

(1. Department of Psychology, Zhejiang Sci-tech University, Hangzhou 310018, China;

2. The Affiliated Hospital of Hangzhou Normal University, Hangzhou 310015, China;

3. Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121; 4. University of Toronto, Ontario M5R2X2, Canada)

## Abstract

Mental stress will not only reduce the work performance, but also lead to cardiovascular diseases and psychological disorders. The article first addresses four types of psychological stress assessment methods: stress appraisal measurement, affective responses measurement, stress hormones measurement and cardiovascular response measurement, as well as their advantages and disadvantages. Then a facial Transdermal Optical Imaging technique is introduced to monitor people's real-time dynamic changes in mental stress level remotely. The novel technique uses a

conventional digital camera to video record the people's faces from a distance, analyzing the hemoglobin concentration changes underneath the facial skin to obtain the physiological indices of mental stress, such as heart rate variability (HRV) etc. Therefore, it can be widely used in scientific research and practical applications, such as medical monitoring, psychological research, marketing and etc.

**Key words:** transdermal optical imaging, hemoglobin concentration, mental stress, heart rate variability

（上接第 58 页）

# The Effect of Awe on Ethical Risk-Taking Propensity

LI Ming<sup>1,2</sup> LI Man-wai<sup>3</sup> LI Wen-qiao<sup>2</sup> GAO Ding-guo<sup>2</sup>

(1. Jishou University, Jishou 416000, China;

2. Department of Psychology, Guangdong Provincial Key Laboratory of Social Cognitive neuroscience, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510006, China;

3. Department of Psychology, The Education University of Hong Kong, Hong Kong SAR, China)

## Abstract

The current research investigated how awe would affect people's risk-taking propensity across different domains and whether the effect would be moderated by their emotion regulation strategies. In two experiments, 148 participants were induced to feel awe versus happiness (Experiment 1) or versus neutral emotion (Experiment 2). After the mood induction, participants completed scales assessing their risk-taking propensity in different domains and emotional regulation strategies. We found that participants who experienced awe showed less risk taking in the ethical domain (but not other domains) than those who

experienced happiness. In addition, participants with a higher level of emotional suppression showed less risk taking in the ethical domain but more risk taking in the financial domain in the awe condition (versus happiness condition). Finally, participants in the awe and neutral emotion condition did not show any difference in risk-taking propensity across domains, suggesting that awe may have similar effects as neutral emotion on risk taking.

**Key words:** awe, happiness, neutral emotion, risk taking, emotion regulation