

# 基于情绪体验的 ASD 儿童干预 APP 角色造型研究

韦懿洋, 张丙辰, 孙福旭, 王瑞

(江苏师范大学 机电工程学院, 江苏 徐州 221116)

**摘要:** **目的** 面对我国 ASD 儿童数量逐年上升的情况, 为干预 APP 角色造型设计提供优化设计思路, 提出一种基于情绪体验的卡通角色造型设计研究方法。**方法** 首先, 结合文献从 20 余项 HRV 指标中筛选出 8 项代表性 HRV 指标, 通过 HRV 实验收集 8 项指标数据; 其次, 结合改进的语义量表整理情绪体验得分; 再次, 运用逐步回归分析法筛选出对情绪体验得分影响最大的 3 项 HRV 主因子; 最后, 建立多元回归方程, 探求情绪体验得分与 3 项 HRV 指标间的回归关系。**结果** 研究发现, ASD 儿童对三类角色中的器物角色的情绪体验反馈最为明显, 且具有方圆主体轮廓和梯形、圆形组合部件的器物角色能够提高 LF/HF、SDNN, 并降低 M-HRT, 进而获得愉悦的情绪体验。**结论** 融合改进的语义量表建立情绪体验与 3 项 HRV 指标间的多元线性回归模型, 为 ASD 儿童干预 APP 卡通角色造型的设计与方案评价提供了理论依据, 且符合 ASD 儿童情绪体验的角色造型设计能够激发儿童兴趣、提升交互体验、增强干预效果。

**关键词:** 情绪体验; ASD 儿童; HRV; 干预 APP; 角色造型

**中图分类号:** TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2023)08-0140-13

**DOI:** 10.19554/j.cnki.1001-3563.2023.08.014

## ASD Children's Intervention APP Character Modeling Based on Emotional Experience

WEI Yi-yang, ZHANG Bing-chen, SUN Fu-xu, WANG Rui

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Jiangsu Normal University, Jiangsu Xuzhou 221116, China)

**ABSTRACT:** The work aims to propose a research method of cartoon character modeling design based on emotional experience so as to provide an optimal design idea for the character modeling design of intervention APP in the face of the increasing number of ASD children in China. Firstly, combined with literature, 8 representatives were screened out from 20 HRV indicators, and the data of the 8 indicators were collected through HRV experiments. Secondly, based on the improved semantic scale, the emotional experience scores were arranged. Then, stepwise regression analysis was used to screen out the 3 main HRV factors that had the greatest impact on emotional experience scores. Finally, multiple regression equations were established to explore the regression relationship between emotional experience score and 3 HRV indicators. It was found that ASD children had the most obvious emotional experience feedback on the three types of characters, and the characters with main outline in square and circle and trapezoidal and circular components could improve LF/HF and SDNN and reduce M-HRT, thus obtaining a pleasant emotional experience. Integrating the improved semantic scale to establish a multiple linear regression model between emotional experience and three HRV indicators provides a theoretical basis for the design and scheme evaluation of APP cartoon character modeling of ASD children's intervention, and the character modeling design in line with ASD children's emotional experience can stimulate children's interest, improve interactive experience and enhance the effect of intervention.

**KEY WORDS:** emotional experience; ASD children; HRV; intervention APP; character modeling

收稿日期: 2022-11-18

基金项目: 江苏师范大学研究生科研与创新计划项目(2021XKT0355); 教育部人文社会科学研究规划基金项目(18YJAZH123)

作者简介: 韦懿洋(1997—), 女, 硕士生, 主攻工业设计及其理论、设计学。

通信作者: 张丙辰(1976—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为儿童产品设计、交互设计。

自闭症谱系障碍 (Autism Spectrum Disorders, ASD), 是一种广泛性的发育障碍, 主要表现为社会交往障碍、语言障碍、兴趣狭隘及重复性的刻板行为等特征<sup>[1]</sup>。2019 年五彩鹿儿童行为矫正中心发布的《中国自闭症教育康复行业发展状况报告 III》指出, 中国的自闭症发病率达 2.76%, 其中自闭症男孩是女孩的 4 倍<sup>[2]</sup>。ASD 儿童在情绪识别、理解、表达方面存在的缺陷极大地阻碍其社会适应能力的发展<sup>[3]</sup>。而干预 APP 作为新型学习媒介, 为 ASD 儿童的干预训练提供了高效率、低成本的有效途径<sup>[4]</sup>。相关研究发现, 具有积极情绪体验的干预 APP 训练能够促进 ASD 儿童的社会互动, 增加共同参与行为<sup>[5-6]</sup>。

## 1 研究背景

### 1.1 ASD 儿童情绪体验研究

ASD 儿童存在情绪障碍, 表现为其情绪指向存在问题, 情绪强度存在异常, 情绪与周围环境不相协调<sup>[7]</sup>。研究显示高兴、愉悦、放松等积极的情绪体验, 对 ASD 儿童的发展具有正向意义。Akinloye 等<sup>[8]</sup>通过开发 ASD 儿童情感 APP 发现, 快乐情绪可以提高儿童感知、表达能力, 促进其情感沟通。连福鑫等<sup>[9]</sup>研究表明, 积极情绪类绘本能够帮助 ASD 儿童表达和控制自身情绪, 发展儿童的情绪调控能力, 进一步提高执行功能。金野<sup>[10]</sup>通过音乐治疗发现, 愉悦、放松的情绪可以改善 ASD 儿童的刻板行为, 增强社会互动。而恐惧、愤怒、焦虑等消极的情绪体验会影响 ASD 儿童的发展。Cappadocia 等<sup>[11]</sup>对 ASD 儿童的消极情绪进行研究, 发现儿童的敏感、焦虑及退缩会诱发情绪失控, 阻碍儿童正常的学习、社交与生活, 不利于他们社会适应能力的发展。Krupa 等<sup>[12]</sup>认为, ASD 儿童恐惧等消极情绪阻碍了其同龄人交往, 导致出现攻击性行为和崩溃的现象。

从多位学者的研究中可以看出, 符合 ASD 儿童情绪体验的设计对其沟通、执行能力、社交等方面的发展具有促进意义, 有利于增强干预效果。

### 1.2 ASD 儿童干预 APP 角色造型的研究现状

干预 APP 作为新型学习资源, 是指致力于提升 ASD 儿童情绪识别、语言沟通、社会交往等能力的教育应用程序<sup>[13-14]</sup>。Withey 等<sup>[15]</sup>在 APP 背景下对 ASD 儿童进行社会情绪干预, 结果表明强调情绪体验的 APP 能够促进积极情绪的表达, 促使儿童保持较高的社会适应力。Kamaruzaman 等<sup>[16]</sup>发现动画与交互式 APP 有助于增强 ASD 儿童的情绪体验, 进一步提高了儿童对数字学习的参与度和兴趣性。Mintz 等<sup>[17]</sup>在研究中发现 ASD 儿童与 APP 的交互可以促进儿童积极情绪的表达, 以及社交技能与生活技能的提升。

通过对 APP Store 中下载量的调研发现, ASD 儿童 APP 大多采用卡通造型的角色设计<sup>[18]</sup>。卡通角色是指由简单线条、鲜艳色彩、可爱形状所呈现的视觉形象, 具有丰富有趣、灵活生动的特点<sup>[19]</sup>。适宜的卡通角色造型可以减少儿童的人机交互负担, 使儿童获得满足感, 并对执行功能产生积极影响<sup>[20]</sup>。国内外研究者针对角色设计在 ASD 儿童干预 APP 中的应用展开了研究。贺超颖等<sup>[21]</sup>通过对比 ASD 儿童观看卡通角色与真人角色的眼动实验时发现, 儿童对卡通角色眼睛的注视无目光接触减少行为, 卡通角色有助于提升儿童的共同注意力。Selvakumarasamy 等<sup>[22]</sup>指出, APP 中加入卡通角色造型设计能够提高 ASD 儿童对情境的理解力、吸引力, 进而获得积极的社会关注。Silva 等<sup>[23]</sup>对 ASD 儿童情绪干预 APP 的研究发现, 卡通角色的刺激具有显著的激励性和较高的唤醒度。

角色的主体轮廓骨架是其造型的重要体现, 造型设计能够体现角色独特的个性和形象, 进而产生亲切感和认同感<sup>[24]</sup>。以圆形为主体的卡通角色造型 (如哆啦 A 梦) 象征着圆满、可爱、憨厚、凝聚、安逸; 以三角形为主体的卡通角色造型 (如神偷奶爸的格鲁) 象征着稳定、攻击、安全、聪明、冲动; 以方形为主体的卡通角色造型 (如孙悟空) 象征着正直、简洁、坚韧、干练、防御<sup>[25]</sup>。

通过相关研究可以发现, 干预 APP 中引入卡通角色可以减少 ASD 儿童人机交互时的焦虑感, 并结合几何轮廓骨架进行造型设计能够促使其获得积极的情绪体验, 进而保持持续注意力、激发主动性、提高干预效率。

### 1.3 心率变异性 (HRV) 研究现状

目前对 ASD 儿童情绪与行为的研究大多致力于面部表情、手势和言语等, 研究发现基于生物信号识别的心率变异性可以有效了解被试儿童的情绪和内部心理状态<sup>[26-27]</sup>。心率变异性 (Heart rate variability, HRV) 反映心跳快慢的变化情况, 是衡量心理灵活性和适应能力的重要量化指标, 具有干涉性小、实时性好、设备价格低廉等诸多优势<sup>[28]</sup>。

多位学者将 HRV 实验与 ASD 儿童情绪、心理相结合, 为其情绪体验研究提供了更加便利的途径。Cai 等<sup>[29]</sup>基于 HRV 建立一个感知 ASD 儿童情绪体验转变, 并提醒父母或教辅人员的系统, 便于帮助父母了解儿童未表达的情绪, 进而辅助其保持积极的情绪状态。Anandhi 等<sup>[30]</sup>在 ASD 儿童效价识别研究中指出, 心率变异性曲线可以预测儿童的情绪状态, 进而实时、高效地缓解儿童的负面情绪, 提升情绪体验。Gonzaga 等<sup>[31]</sup>根据对 ASD 儿童面部表情识别任务的研究表明, HRV 数据能够分析儿童面部表情的识别程度与行为表现, 为其稳定情绪、调整心理、改善行为提供了便捷的方法。李天彪等<sup>[32]</sup>将心率变异性与二

元回归分析相结合,建立了 LF/HF 与驾驶时间、高原海拔间的回归模型,得出驾驶时间增长且海拔高度增高会增加驾驶员紧张疲劳程度的结论,有效减少安全隐患。

通过以上学者的研究可知,HRV 指标可以有效探析 ASD 儿童的情绪状态与情绪变化。将 HRV 指标与情绪体验相结合,进而了解 ASD 儿童对不同卡通角色造型的情感体验,将有助于激发儿童的兴趣性,延长干预训练时间,使儿童获得持续注意力。

## 2 基于情绪体验的 ASD 儿童干预 APP 角色造型设计研究流程

本研究提出了基于情绪体验的 ASD 儿童干预 APP 卡通角色造型设计模型,研究流程见图 1。首先根据 ASD 儿童的情绪认知特点,运用逐步回归法,筛选出对其情绪认知影响较大的 HRV 指标;然后通过改进的语义量表调研,并整理儿童对实验样本的情绪体验得分;最后解析 ASD 儿童卡通角色造型情绪体验与 HRV 指标之间的映射关系。

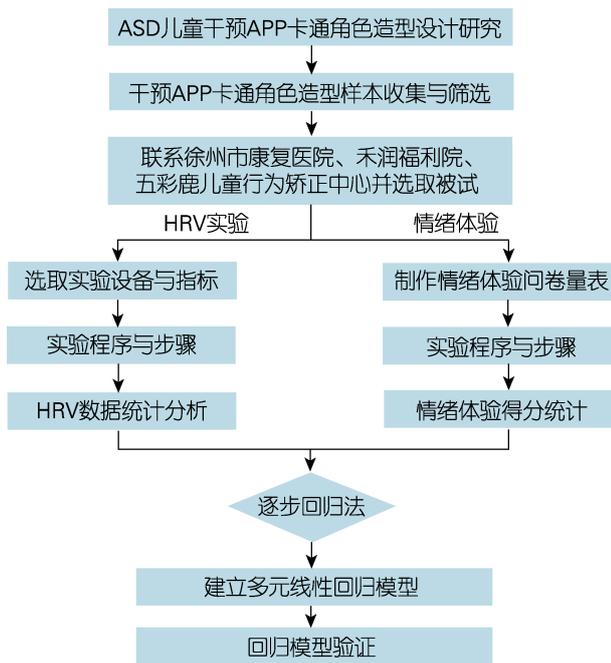


图 1 研究方法 with 流程

Fig.1 Research method and process

### 2.1 干预 APP 卡通角色造型样本选取

对徐州市康复医院、五彩鹿儿童行为矫正中心、禾润福利院等相关机构走访调研,与教辅人员及家长进行沟通、交流,记录目前 ASD 儿童使用较多的干预 APP;通过市场调研,按照相关度与下载量在 APP Store、谷歌应用市场中收集排名前 100 的干预 APP,选取其中的卡通角色造型作为样本来源,见图 2。



图 2 部分干预 APP 卡通角色样本

Fig.2 Part of samples of intervention APP cartoon characters

多位学者研究发现 ASD 儿童对几何形状与轮廓具有较高的关注度,如王薇等<sup>[33]</sup>在探究情绪绘本对干预效果影响的研究中指出,儿童把握关键信息如主角具体内容的能力较弱,对非关键信息如背景、轮廓区域表现出较高注意力水平;龙丹妍等<sup>[34]</sup>通过对比实验表明,ASD 儿童对形状的认知能力优于普通儿童,且对动画角色的关注集中于轮廓形状与构型,2~4 岁儿童倾向于拟人化形态,4~6 岁儿童则倾向于现实中熟悉的形态;Keintz 等<sup>[35]</sup>研究显示,ASD 儿童的数学思维能力较强,对几何形状的刺激表现出较强敏感性,基于几何形态的刺激,既能有效促进其对几何形状的辨别,又增强了其对硬币名称与数值的识记。因此,本研究希望从几何形态角度对 ASD 儿童干预 APP 的角色造型进行阐述,总结能提升其情绪体验的角色形态。

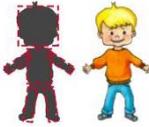
在 APP Store ASD 儿童干预 APP 中,发现卡通动物角色占 57.5%,卡通人物角色占 26%,其他角色占 7%。因此,根据造型特点及角色形态相似性原则,将角色大致分为人物、动物、器物三类<sup>[36-37]</sup>。从识别性、清晰度等方面对干预 APP 卡通角色进行整理,排除表现形式相似、画质不清晰、内容明显与干预训练无关的角色,共收集 46 种角色造型。为了确保实验的效率和准确度,突出实验样本的代表性,邀请 3 位经验丰富的 ASD 儿童产品设计、儿童 APP 设计、视觉传达领域设计师和 4 位 UI 设计、儿童产品设计专业研究生,在上述基础上进行分类,筛选出干预效果最为显著、差异性较大的 20 种角色造型作为较为典型的样本。

通过相关研究分析<sup>[38-43]</sup>,发现具有熟悉性、亲切感的母亲角色能够提升 ASD 儿童的依恋程度,具有“长脖子”特征的长颈鹿被证明与心理防御有关;与情感缺失相关的绿色青蛙角色有利于调整 ASD 儿童的情感体验;且 ASD 儿童中男童更为普遍,因此男童角色造型有助于增加沉浸感;儿童对公共交通类玩具表现出明显的情绪偏好、能够增长注视时间;在生活自理类 APP 中出现频率较高的闹钟角色能够帮助规范儿童的行为。

通过对市场上使用频率较高的绘本、APP 角色调研, 结合 PECS 相关研究文献, 并参考教辅人员建议进行综合考量, 最终选取对情绪影响较大的母亲、小男孩、长颈鹿、青蛙、电话和闹钟 6 种角色为典型性样本, 见表 1。

为了提高实验的精度, 避免布局、色彩等因素对实验结果造成干扰, 对其中 3 种卡通角色造型进行灰度模式处理, 并通过直方图对亮度进行合理调整, 使各样本亮度一致且细节信息清晰<sup>[44]</sup>, 样本亮度的平均值、标准偏差、中间值等详细数值, 见图 3。

表 1 干预 APP 卡通角色造型样本介绍表  
Tab.1 Introduction to samples of APP cartoon character modeling

样本编号/类型	代表性样本	干预 APP 名称/主要功能	造型特征要素	备注
Y1 人物角色		《Mat igraonica》通过具体的图形开展数字游戏, 培养儿童认知能力与阅读技能	母亲角色由圆形头部、梯形躯干及方形四肢构成整体轮廓骨架, 通过饱满的头部展现丰富的表情, 线条柔和, 造型圆润, 比例协调	由萨格勒布大学开发, 专注于 ASD 儿童教育
Y2 人物角色		《My Play Home》将卡通风格和互动元素相结合, 通过互动动画提高儿童社交能力	小男孩由方形头部、方形躯干及方形四肢构成整体轮廓骨架, 视觉中心集中于面部, 接近儿童身体结构特点	入选《纽约时报》精选, 是年度十大最佳儿童应用程序
Y3 器物角色		《Timer》以游戏形式引导儿童进行洗漱、穿衣等生活任务, 帮助提升生活自理能力	闹钟由圆形表盘、三角形闹铃和圆形支架组成, 三角形闹铃与圆形支架对称平衡, 闹铃边角圆润, 线条光滑流畅	已有超过 35 万人使用, 是 iOS 下载量前三名的培养生活自理能力 APP
Y4 器物角色		《Card Talk》包含 200 种类型的发音卡片, 帮助儿童加强语言交流与沟通能力	小汽车由方圆形车窗、梯形车身和圆形车轮组成, 圆滑的弧线与方正的轮廓对比鲜明, 形状简单, 造型活泼	是第一款支持中文且致力于儿童语言沟通障碍的 APP
Y5 动物角色		《123 Kids Fun》包含 90 个数字滑块拼图游戏, 发展儿童精细运动及手眼协调技能	长颈鹿由方形头部、方形躯干与方形四肢构成整体轮廓骨架, 头部复杂、躯干简洁、四肢清晰, 整体造型真实自然, 可分辨性较高	为 3~5 岁儿童开发的游戏 APP, 支持多国语言, 应用于二十几个国家
Y6 动物角色		《小蝌蚪历险记》融合儿歌、动画与互动, 锻炼儿童独立思考与观察能力	青蛙椭圆形头部、梯形躯干与方形四肢构成整体轮廓骨架, 头部简单、躯干清晰、四肢复杂, 整体构图呈对称形式	《宝宝巴士》系列专为 1~6 岁儿童启蒙教育, 全球下载量稳居前十

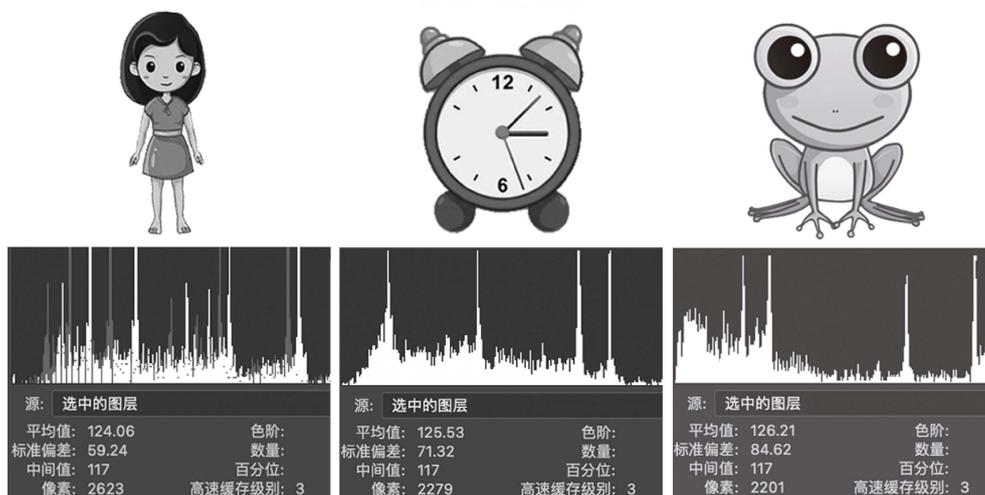


图 3 部分干预 APP 卡通角色样本及其亮度直方图  
Fig.3 Part of samples of intervention APP cartoon characters and their brightness histogram

## 2.2 实验被试儿童

本次实验联系徐州市康复医院、五彩鹿儿童行为矫正中心、禾润福利院的 22 名 ASD 儿童，由于实验过程较长，且对被试儿童的配合度要求较高，通过多次沟通，最终确定 18 名 ASD 儿童作为实验组。并向被试儿童的家长详细介绍本次实验的内容、目的和意义，征求家长同意，获得家长自愿签署的知情同意书。被试儿童具体情况见表 2。

表 2 被试儿童基本情况介绍

Tab.2 Introduction to basic information of the subjects

年龄	人数	女孩人数	男孩人数
4~5	7	2	5
6~7	11	4	7

## 2.3 HRV 实验

### 2.3.1 实验材料

经过灰度处理后的 6 个实验样本可以减少外界干扰因素的影响，确保实验结果的可靠性，实验样本的呈现形式见图 4。

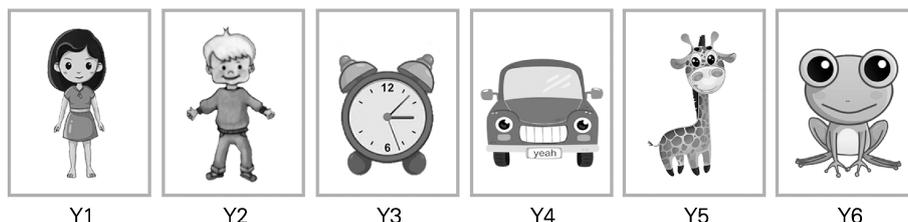


图 4 干预 APP 卡通角色实验样本

Fig.4 Experimental samples of intervention APP cartoon characters



图 5 实验场景

Fig.5 Experiment scene

### 2.3.3 HRV 指标选取

不同的 HRV 指标可以反映不同的情绪特征，多位学者将 HRV 指标与 ASD 儿童情绪维度相结合，如 Neuhaus 等<sup>[45]</sup>在 ASD 儿童社交技能研究中，将全程相邻心跳间期差值的均方根、平均心率用于测量儿童社交过程中的焦虑程度。Cheng 等<sup>[46]</sup>采用荟萃分析发现，标化高频能量、全程相邻心跳间期差值的均方根、全部心跳间期的标准差、低频能量与高频能量的比值、甚低频能量可以反映 ASD 儿童面对压力时的情绪反应。Kuiper 等<sup>[47]</sup>在 ASD 个体抑制性情绪研究中

### 2.3.2 实验设备与程序

采用南京云汉心理咨询公司的心源心率变异分析系统——包含信号处理器一台，信号采集器一个，单机版心理干预系统软件一套，以及分辨率为 2 880\*1 800 px 的联想电脑一台播放与记录被试儿童观看样本的心理行为。

实验采取个别测试的方法，在安静、独立、熟悉的教室内进行，减少被试儿童的紧张心理。被试儿童进入教室内后坐在显示器前约 50 cm 的位置；实验前，由教辅人员向被试儿童讲解实验程序，并展示样本以确保其能够熟悉实验流程，并由教辅人员将接收信号的传感器耳夹夹在其耳垂上，等待 15 s 以校验传感器能否传送信号；实验时，通过语音播报提示实验开始，然后依次播放 6 个实验样本，每个样本的刺激时长为 75 s，且样本间放置一张停留 3s 的绿底空白图片作为短暂的休息，该过程邀请被试家长或教辅人员进行辅助，以便随时处理突发状况；实验时，邀请被试儿童的家长或教辅人员进行辅助，以便随时处理突发状况；实验后，给予被试儿童糖果、绘本等奖励，实验场景见图 5。

指出，全部心跳间期的标准差、低频能量与高频能量的比值是用于测量积极情绪和消极情绪的有效指标。阎克乐等<sup>[48]</sup>通过心率变异性对焦虑、烦躁等情绪进行评价，发现高频能量、低频能量可以有效衡量抑郁等负向情绪。谢业雷等<sup>[49]</sup>指出由于在较短时间实验中高频能量与低频能量各频段值常受到总频谱能量的影响，使用标准化处理后的值进行实验将提高数据的可靠性。

为了更加清晰准确地解析被试儿童对不同干预 APP 卡通角色造型的情绪体验，在 20 余种 HRV 指标中筛选出 8 种应用率较高的指标（M-HRT、SDNN、RMSSD、TP、VLF、LF/HF、LFnorm、HFnorm）进行实验，各项指标的具体含义见表 3。

### 2.3.4 实验结果

通过心源身心健康管理系统（见图 6）将被试儿童在实验过程中的心率变异性监测报告导出，使用该设备配套的 Studio1.1.17.8 分析软件可提取被试儿童实验过程中 HRV 指标的数值，部分实验报告数据见图 7。



表4 HRV 实验数据  
Tab.4 HRV experimental data

样本编号	M-HRT	SDNN	RMSSD	TP	VLF	LF/HF	LFnorm	HFnorm
Y1	85.29	70.90	37.46	420.58	93.55	1.09	49.22	37.84
Y2	87.74	62.97	28.81	402.12	102.18	1.00	47.38	34.36
Y3	83.25	83.80	50.77	524.88	79.84	2.37	62.71	48.00
Y4	83.09	87.09	52.40	532.96	64.68	2.89	65.65	50.79
Y5	84.68	81.54	43.23	452.40	88.02	2.22	54.01	41.92
Y6	83.46	82.38	47.98	462.85	81.86	2.30	58.12	45.12

表5 按性别区分的 HRV 实验数据  
Tab.5 HRV experimental data based on gender

样本编号	性别	M-HRT	SDNN	RMSSD	TP	VLF	LF/HF	LFnorm	HFnorm
Y1	男	85.34	70.73	39.94	420.02	92.40	1.13	49.85	37.45
	女	85.20	71.25	34.98	421.70	95.83	1.00	47.98	38.63
Y2	男	87.61	62.90	28.12	400.34	101.73	1.05	43.51	34.58
	女	87.94	63.08	29.50	403.92	102.89	0.93	43.12	34.36
Y3	男	83.01	83.49	51.36	523.43	80.63	2.41	62.01	47.77
	女	83.49	84.59	50.18	520.36	77.78	2.25	64.54	48.59
Y4	男	82.91	87.47	52.07	545.20	65.17	2.83	65.89	51.45
	女	83.27	86.33	52.73	543.18	63.69	2.83	65.17	49.48
Y5	男	84.20	81.87	44.65	450.89	87.21	2.25	54.59	41.93
	女	85.64	80.88	41.81	455.45	89.64	2.15	52.86	41.92
Y6	男	83.15	82.71	46.32	458.62	80.91	2.35	57.80	45.27
	女	84.07	81.70	49.64	471.30	83.76	2.20	58.75	44.82

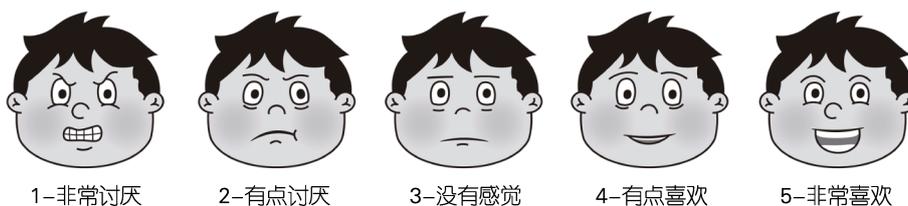


图8 改进的语义量表  
Fig.8 Improved semantic scale

可以有效地反映被试儿童对不同卡通角色造型的情绪体验得分。

实验开始前由教辅人员对被试儿童详细讲解实验流程和要求,并介绍改进的语义量表中每个评分等级的含义,确保其理解实验要求和量表的使用方式。实验时,让被试儿童观察实验样本,并根据喜爱程度在改进的语义量表中对对应位置勾选。实验后,通过教辅人员记录、整理不同卡通角色造型对应的评分等级,统计得出 APP 卡通角色造型的最终情绪体验得分数据(见图9);分值高的被选次数越多,说明儿童对该样本的情绪体验越平静、放松、喜爱,分值低的被选次数越多,说明儿童对该样本的情绪体验越紧张、焦虑、讨厌。

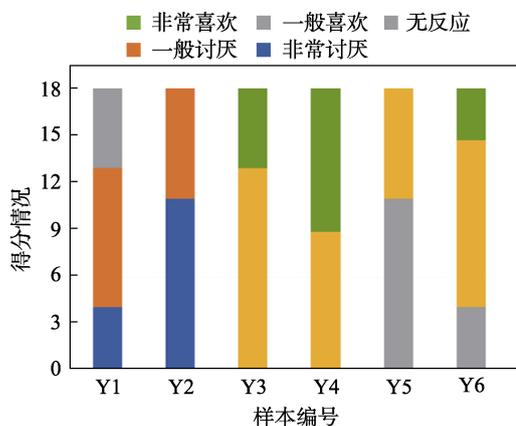


图9 情绪体验得分统计  
Fig.9 Statistics of emotional experience scores

### 3 建立回归模型

多元线性回归是探究多个自变量与一个因变量之间的线性关系, 相较于只用一个自变量进行预测, 由多个自变量的最优组合共同预测因变量更加合理、准确。其多元回归方程的表示如下:

$$\bar{Y} = p + q_1X_1 + q_2X_2 + \dots + q_nX_n \quad (1)$$

其中,  $Y$  表示卡通角色造型的情绪体验得分;  $p$  表示常数;  $q_1 \sim q_n$  表示偏回归系数, 即某个自变量的变化所引起因变量变化的程度;  $X_1 \sim X_n$  表示自变量,

即 HRV 指标;  $n$  表示自变量的个数。

#### 3.1 可信度检验

通过 SPSS 22.0 的“可靠性分析”功能对实验样本的 HRV 数据与情绪体验得分进行可信度检验, 整体样本的克伦巴赫系数  $\alpha$  为 0.807, 说明本次实验数据的同质性相对很高, 实验数据真实可靠。

对表 4 所示的 HRV 实验数据进行方差分析, 计算各组数据的平均数之间的差异及各组内数据之间的差异, 结果显示,  $P < 0.05$ , 说明实验数据的差异性显著, 详见表 6。

表 6 方差分析  
Tab.6 Variance analysis

被试儿童之间		平方和	df	均方	F	显著性
		1 812 838.347	107	16 942.414		
被试儿童中	项目之间	16 111 226.51	7	2 301 603.788		
	残差	11 792 679.01	749	15 744.565	146.184	0.000
	小计	27 903 905.52	756	36 909.928		
总计		29 716 743.87	863	34 434.234		

#### 3.2 共同度检验

共同度检验可以确定 HRV 指标是否可以有效说明 ASD 儿童对卡通角色造型的情绪体验得分, 共同度越高即代表 HRV 指标越能够解释儿童对卡通角色造型的情绪体验得分。如表 7 所示, 8 项 HRV 指标的共同度均大于 0.6, 且共同度在 0.8 以上的占 62.5%, 因此表明以上 8 项指标均能有效说明 ASD 儿童对卡通角色造型的情绪体验得分, 满足构建多元线性回归模型的条件。

表 7 共同度检验  
Tab.7 Common degree test

HRV 指标	起始	提取	HRV 指标	起始	提取
M-HRT	1.000	0.809	VLF	1.000	0.803
SDNN	1.000	0.847	LF/HF	1.000	0.843
RMSSD	1.000	0.658	LFnorm	1.000	0.723
TP	1.000	0.725	HFnorm	1.000	0.809

#### 3.3 多元回归分析

逐步回归分析是多元回归分析中的一种方法, 它克服了一般多元线性回归分析将无统计学意义的自变量也纳入回归方程的不足, 建立了更为合适、优化的回归模型, 进而更加深入地研究变量之间的依赖关系<sup>[52]</sup>。因此, 采用逐步回归分析法, 将客观的 HRV 实验数据与主观的情绪体验得分相结合, 可以为 ASD 儿童卡通角色造型设计提供更为清晰、全面的数据支撑。

基于可靠性分析和共同度检验, 运用逐步回归分析法提炼出三项指标: 低频能量与高频能量的比值

(LF/HF)、平均心率 (M-HRT)、全部心跳间期标准差 (SDNN)。因此, 将以上三项指标作为自变量, 建立基于情绪体验的多元线性回归方程, 该回归模型的主要数据见表 8。

表 8 方程模型摘要  
Tab.8 Equation model summary

模型	R	R 平方值	调整后 R 平方值	标准偏斜度误差	Durbin-Waston
1	0.425	0.181	0.173	1.191	
2	0.492	0.242	0.228	1.151	1.240
3	0.526	0.277	0.256	1.130	

检验残差的正态性即考察因变量(情绪体验得分)的取值是否服从正态分布, 残差呈现正态性则说明该方程合理有效。由图 10 (常态 P-P 图)可知, 情绪体验得分的回归模型呈现近似正态分布, 即该模型能够正确反映 ASD 儿童对角色造型的情绪体验得分情况。

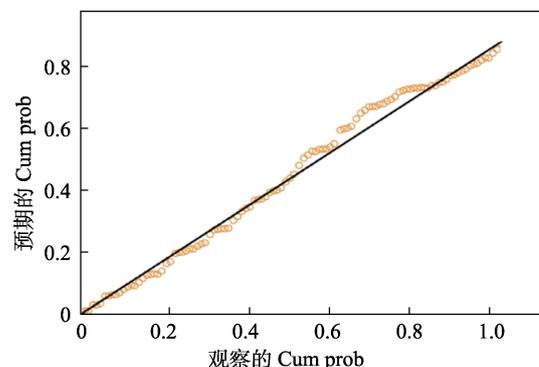


图 10 回归模型的标准化残差的常态 P-P 图  
Fig.10 Normalized P-P diagram of standardized residuals in regression models

表9 回归系数  
Tab.9 Regression coefficient

成分	非标准化系数		标准化系数	<i>t</i>	显著性
	<i>B</i>	标准误差	<i>Beta</i>		
常量	6.483	1.599		4.054	0.000
低频能量与高频能量的值	0.376	0.077	0.422	4.878	0.000
平均心率	-0.054	0.019	-0.244	-2.895	0.004
全部心跳间期标准差	0.009	0.004	0.192	2.242	0.005

根据表9可知,常量为6.483,低频能量与高频能量的比值、平均心率、全部心跳间期标准差的回归系数分别为0.376、-0.054、0.009,且三个变量的显著性均小于0.05。因此,情绪体验的多元回归方程如下:

$$\hat{Y} = 6.483 + 0.376X_1 - 0.054X_2 + 0.009X_3 \quad (2)$$

由方程(2)中回归系数的绝对值可知,低频能量与高频能量的比值 $X_1$ >平均心率 $X_2$ >全部心跳间期标准差 $X_3$ ,则说明对ASD儿童情绪体验影响最大的是低频能量与高频能量的比值,影响最小的是全部心跳间期标准差。

## 4 讨论

通过对被试儿童的HRV实验数据分析与情绪体验得分统计分析,筛选提炼出对ASD儿童干预APP卡通角色造型影响最大的3项HRV主因子为低频能量与高频能量的比值(LF/HF)、平均心率(M-HRT)、全部心跳间期标准差(SDNN),进而建立情绪体验的多元线性回归模型。在此基础上,结合实验数据对卡通角色造型进行分析总结,旨在给予卡通角色造型设计更清晰的建议。

### 4.1 角色类型分析

由表3可知,LF/HF呈现增加趋势,情绪处于放松状态,LF/HF呈现降低趋势,情绪处于紧张状态;SDNN呈现增加趋势,情绪处于放松状态,SDNN呈现降低趋势,情绪处于紧张状态;M-HRT呈现增加趋势,情绪处于紧张状态,M-HRT呈现降低趋势,情绪处于放松状态。

箱线图中箱体中间的线越高则说明平均值越大,根据图11显示, $Y_4 > Y_3 > Y_6 > Y_5 > Y_1 > Y_2$ ,即ASD儿童对角色类型的情绪体验程度:器物角色>动物角色>人物角色。

因此,基于ASD儿童情绪体验,在设计、开发干预APP时增加非生命体的器物角色,或将无生命特征的器物角色作为主角,帮助儿童开展生活自理能力、情绪识别能力与社交沟通能力的训练,将有利于提高儿童的兴趣性与交互体验,进而提升干预

效果。

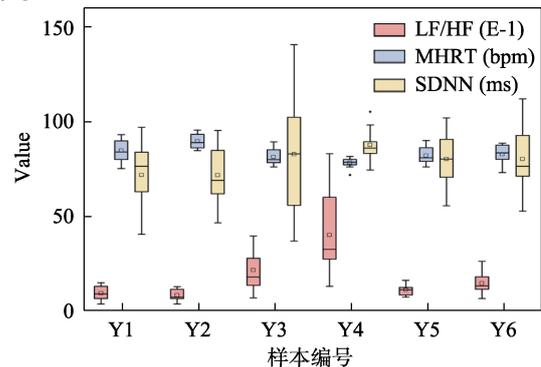


图11 HRV实验数据箱线图

Fig.11 Box line diagram of HRV experimental data

### 4.2 人物角色造型分析

由表1可知,Y1由圆形头部、梯形躯干与方形四肢组成,Y2由方形头部、方形躯干与方形四肢组成。根据图9显示, $Y_1 > Y_2$ ,即ASD儿童对人物角色造型的情绪体验程度:圆形头部、梯形躯干与方形四肢轮廓的人物造型优于方形头部、方形躯干与方形四肢轮廓的人物造型。

由此可知,具有圆形头部、梯形躯干与方形四肢轮廓的人物角色,其圆润的头部与稳重的身体具有较强的亲和力、安全感,能够提高LF/HF、SDNN并降低M-HRT,进而使ASD儿童获得轻松、愉悦的情绪体验。而具有方形头部、方形躯干与方形四肢的人物角色造型,其方正的身体体现着防御性、自我保护,能够降低LF/HF、SDNN并提高M-HRT,进而使ASD儿童获得焦虑、愤怒的情绪体验。因此,在干预APP人物角色设计中,强调圆润的头部轮廓和与儿童体态相近的躯干轮廓骨架,将增强儿童对该人物角色熟悉、亲切的情绪体验,获得更好的视觉吸引力。

### 4.3 器物角色造型分析

由表1可知,Y3由圆形表盘、三角形闹铃和圆形支架组成,Y4由方圆形车窗、梯形车身和圆形车轮组成。根据图9显示, $Y_4 > Y_3$ ,即ASD儿童对器物角色造型的情绪体验程度:方圆形主体轮廓骨架和梯形与圆形组合部件的器物造型优于圆形主体轮廓

骨架和三角形与圆形组合部件的器物造型。

由此可知,具有方圆形主体轮廓骨架和梯形与圆形组合部件的器物造型,其圆润饱满的造型迎合了ASD儿童对圆形的诉求,能够提高LF/HF、SDNN并降低M-HRT,进而使ASD儿童获得宽慰、快乐的情绪体验。具有圆形主体轮廓骨架和三角形与圆形组合部件的器物角色,其带有棱角的造型特征增添了对比感,能够降低LF/HF、SDNN并提高M-HRT,进而使ASD儿童获得紧张、恐惧的情绪体验。因此,在干预APP器物角色设计中,增加圆形轮廓,如带有轮子的小汽车,将增强儿童对该器物角色关注、沉浸的情绪体验,获得更长的持续注意力。

#### 4.4 动物角色造型分析

由表1可知,Y5由方形头部、方形躯干与方形四肢轮廓组成,Y6由圆形头部、梯形躯干与方形四肢组成。根据图9显示,Y6>Y5,即ASD儿童对动物角色造型的情绪体验程度:圆形头部、梯形躯干与方形四肢的动物造型优于方形头部、方形躯干与方形四肢的动物造型。

由此可知,具有圆形头部、梯形躯干与方形四肢的动物角色,其饱满的头部与圆润的眼睛增加了呆萌感,能够提高LF/HF、SDNN并降低M-HRT,进而使ASD儿童获得平和、喜爱的情绪体验。而具有方形头部、方形躯干与方形四肢轮廓的动物角色造型,其方正的头部与四肢体现了坚韧敏捷的特点,能够降低LF/HF、SDNN并提高M-HRT,进而使ASD儿童获得厌恶、不安的情绪体验。因此,在干预APP动物角色设计中,突出圆润的头部轮廓和与动物形态相像的梯形、锥体、三角形躯干轮廓骨架,将增强儿童对该动物角色亲融、满足的情绪体验,获得较强的心理满足感。

## 5 结语

本研究以ASD儿童为目标群体,提出将HRV实验与改进的语义量表相结合对ASD儿童干预APP卡通角色造型进行设计研究,从20余项心率变异性指标中分析、整理出8项与情绪相关的指标,再从8项指标中筛选出与ASD儿童情绪体验相关性最大的3项指标;基于语义差分法与李克特量表编制改进的语义量表,即将量表进行可视化处理,辅助ASD儿童对角色造型的情绪体验进行评分;将3项心率变异性指标作为自变量,儿童的情绪体验得分作为因变量,构建多元回归方程,该模型融合了主观的情绪体验与客观的心率变异性指标,为干预APP卡通角色造型的评价提供了量化依据;总结3种角色类型中最能带给ASD儿童最强积极情绪体验的是器物角色;具有圆形头部轮廓与方形躯干轮廓的人物角色造型能够形成较强的轻松感,提升愉悦体验度;具有方圆形主

体轮廓骨架和两个圆形部件组成的器物角色造型能够带来较强沉浸感,强化角色影响度;具有圆形头部与梯形躯干组成的动物角色造型能够强化即时的体验,提高情绪强度。

ASD儿童的情绪表达能力较弱,无法正确表达、描述自己的情绪,因此本研究引入心率变异性旨在通过客观的HRV数据对其情绪体验加以分析。通过采集ASD儿童注视干预APP卡通角色时的HRV数据,简化其对不同角色造型的情绪体验。融合客观数据与主观体验的研究思路,能够更加清晰地解析符合ASD儿童情绪体验的干预APP卡通角色造型,进一步增强角色吸引力,获得积极情绪体验,减少消极行为,从而达到最佳的干预效果,促进儿童学习、社交、生活等能力的发展。后期将对干预APP的卡通角色造型展开细化因子分析,以期得到角色造型设计的突破性研究,为ASD儿童干预APP的角色造型设计提供更加详尽的指导。

#### 参考文献:

- [1] JOSHI G, FARAONE S V, WOZNIAK J, et al. Examining the Clinical Correlates of Autism Spectrum Disorder in Youth by Ascertainment Source[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2014, 44(9): 2117-2126.
- [2] 五彩鹿儿童行为矫正中心. 中国自闭症儿童的发展与现状报告: 中国自闭症教育康复行业发展状况报告 III[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2019: 28-31.
- [3] 于新宇, 陈东帆, 李睿强. 现代化技术在自闭症康复领域应用的研究综述[J]. *中国特殊教育*, 2016(3): 17-22.
- [4] YU Xin-yu, CHEN Dong-fan, LI Rui-qiang. A Review of the Research into the Application of Modern Technology in Autism Rehabilitation[J]. *Chinese Journal of Special Education*, 2016(3): 17-22.
- [5] FRIDENSON-HAYO S, BERGGREN S, LASSALLE A, et al. Basic and Complex Emotion Recognition in Children with Autism: Cross-Cultural Findings[J]. *Molecular Autism*, 2016, 7: 52.
- [6] LAURIE M H, MANCHES A, FLETCHER-WATSON S. Design Implications from Cognitive Event Analysis: A Case Study of Digitally Mediated Interaction in Autistic Children[C]// *Proceedings of the 18th ACM International Conference on Interaction Design and Children*. New York: ACM, 2019: 476-481.
- [7] TANG H H, JHENG C M, CHIEN Miao-en, et al. ICAN: A Tablet-Based Pedagogical System for Improving the

- User Experience of Children with Autism in the Learning Process[C]// 2013 1st International Conference on Orange Technologies (ICOT). Tainan: IEEE, 2013: 177-180.
- [7] 徐晓虹, 邵峥, 鲁炫麟. 运用 SCE 训练法等干预自闭症儿童情绪的个案研究[J]. 宁波教育学院学报, 2017, 19(3): 76-79.  
XU Xiao-hong, SHAO Zheng, LU Xuan-lin. A Case Study of SCE Training in the Intervention of Children Emotion with Autism[J]. Journal of Ningbo Institute of Education, 2017, 19(3): 76-79.
- [8] AKINLOYE F O, OBE O, BOYINBODE O. Development of an Affective-Based E-Healthcare System for Autistic Children[J]. Scientific African, 2020(9):5-14.
- [9] 连福鑫, 郭昱. 情绪主题绘本教学改善高功能自闭症儿童情绪归因能力的个案研究[J]. 中国特殊教育, 2019(10): 52-61.  
LIAN Fu-xin, GUO Yu. An Emotion-Theme Picture-Book Intervention to Improve Emotional Attributive Ability of Children with High-Functioning Autism: A Case Study[J]. Chinese Journal of Special Education, 2019(10): 52-61.
- [10] 金野. 可视音乐对自闭症儿童情绪与行为干预的个案研究[J]. 现代特殊教育, 2011(S1): 81-84.  
JIN Ye. A Case Study of Visual Music Intervention on Emotion and Behavior of Autistic Children[J]. A Journal of Modern Special Education, 2011(S1): 81-84.
- [11] CAPPADOCIA M C, WEISS J A, PEPLER D. Bullying Experiences among Children and Youth with Autism Spectrum Disorders[J]. Journal of Autism and Developmental Disorders, 2012, 42(2): 266-277.
- [12] KRUPA N, ANANTHARAM K, SANKER M, et al. Recognition of Emotions in Autistic Children Using Physiological Signals[J]. Health and Technology, 2016, 6(2): 137-147.
- [13] 贺安妮, 程艳然, 雷雨迟, 等. 基于内容分析法的自闭症 APP 研究现状与分析[J]. 中华医学图书情报杂志, 2018, 27(3): 50-55.  
HE An-ni, CHENG Yan-ran, LEI Yu-chi, et al. Current Studies and Analysis of Autism Spectrum Disorder APP by Content Analysis[J]. Chinese Journal of Medical Library and Information Science, 2018, 27(3): 50-55.
- [14] 王永固, 谢扬, 殷文娟. 基于 Pad 的教育 APP 教学设计模型构建与开发研究以孤独症儿童情绪识别训练 APP 为例[J]. 中国电化——教育, 2017(6): 124-130.  
WANG Yong-gu, XIE Yang, YIN Wen-juan. A Research on the Instruction Design Model Construction and Development of Educational APP Based on Pad—A Case Study of Emotion Recognition Training APP for Children with Autism[J]. China Educational Technology, 2017(6): 124-130.
- [15] WITHEY K L. Using Apps to Develop Social Skills in Children with Autism Spectrum Disorder[J]. Intervention in School and Clinic, 2017, 52(4): 250-255.
- [16] KAMARUZAMAN M F, RANI N M, NOR H M, et al. Developing User Interface Design Application for Children with Autism[J]. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 2016, 217: 887-894.
- [17] MINTZ J, BRANCH C, MARCH C, et al. Key Factors Mediating the Use of a Mobile Technology Tool Designed to Develop Social and Life Skills in Children with Autistic Spectrum Disorders[J]. Computers & Education, 2012, 58(1): 53-62.
- [18] FLETCHERWATSON S, PAIN H, HAMMOND S T, et al. Designing for Young Children with Autism Spectrum Disorder: A Case Study of an iPad App[J]. International Journal of Child-Computer Interaction, 2016, 7: 1-14.
- [19] 韩静华, 马丽莉. 儿童数字读物的界面设计风格探析[J]. 包装工程, 2014, 35(20): 83-86.  
HAN Jing-hua, MA Li-li. Interface Design Styles of Digital Books for Children[J]. Packaging Engineering, 2014, 35(20): 83-86.
- [20] HINIKER A, SOBEL K, HONG S, et al. Hidden Symbols: How Informal Symbolism in Digital Interfaces Disrupts Usability for Preschoolers[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2016, 90: 53-67.
- [21] SELVAKUMARASAMY S, JOSEPH JAMES S, ARUN C, et al. WITHDRAWN: Basic Education for Autistic Children Using Interactive Video Games[J]. Materials Today: Proceedings, 2021(2):1-5.
- [22] 贺超颖, 陈靓影, 张坤. 眼部线索对孤独症儿童视线加工的影响[J]. 中国特殊教育, 2019(6): 47-55.  
HE Chao-ying, CHEN Jing-ying, ZHANG Kun. The Effect of Eye Cues on Visual Processing to Autistic Children[J]. Chinese Journal of Special Education, 2019(6): 47-55.
- [23] SILVA C, DA FONSECA D, ESTEVES F, et al. Motivational Approach and Avoidance in Autism Spectrum Disorder: A Comparison between Real Photographs and Cartoons[J]. Research in Autism Spectrum Disorders, 2015, 17: 13-24.
- [24] 张云龙, 王进, 陆国栋. 产品廓形曲线的几何特征语义描述与风格解析技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2013, 25(11): 1735-1745.  
ZHANG Yun-long, WANG Jin, LU Guo-dong. Geometric Feature Semantic Description and Style Analytical Technique of Product Profile Curves[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2013, 25(11): 1735-1745.
- [25] 何荣. 几何形在动画角色造型设计中的应用[J]. 装饰, 2018(5): 114-116.  
HE Rong. The Application of Geometry in the Animated Character Modeling Design[J]. Art & Design, 2018(5): 114-116.
- [26] LEGIŠA J, MESSINGER D S, KERMOL E, et al. Emotional Responses to Odors in Children with High-Functioning Autism: Autonomic Arousal, Facial Behavior and Self-Report[J]. Journal of Autism and

- Developmental Disorders, 2013, 43(4): 869-879.
- [27] RAM C S, PONNUSAMY R. Assessment on Speech Emotion Recognition for Autism Spectrum Disorder Children Using Support Vector Machine[J]. World Applied Sciences Journal, 2016, 34(1): 94-102.
- [28] 董占勋, 孙守迁, 吴群, 等. 心率变异性与驾驶疲劳相关性研究[J]. 浙江大学学报(工学版), 2010, 44(1): 46-50.
- DONG Zhan-xun, SUN Shou-qian, WU Qun, et al. Study of Correlation between Heart Rate Variability and Driving Fatigue[J]. Journal of Zhejiang University (Engineering Science), 2010, 44(1): 46-50.
- [29] CAI Ru ying, RICHDAL E A L, DISSANAYAKE C, et al. Resting Heart Rate Variability, Emotion Regulation, Psychological Wellbeing and Autism Symptomatology in Adults with and without Autism[J]. International Journal of Psychophysiology, 2019, 137: 54-62.
- [30] ANANDHI B, JERRITTA S, ANUSUYA I G, et al. Time Domain Analysis of Heart Rate Variability Signals in Valence Recognition for Children with Autism Spectrum Disorder (ASD)[J]. IRBM, 2022, 43(5): 380-390.
- [31] GONZAGA C N, VALENTE H B, RICCI-VITOR A L, et al. Autonomic Responses to Facial Expression Tasks in Children with Autism Spectrum Disorders: Cross-Section Study[J]. Research in Developmental Disabilities, 2021, 116: 39-48.
- [32] 李天彪, 艾力·斯木吐拉. 高原公路驾驶员心率变异性试验分析[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(19): 211-216.
- LI Tian-biao, EI Ismutulla. Analysis of Heart Rate Variability Test of Drivers on Plateau Highway[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(19): 211-216.
- [33] 王薇, 徐知宇, 李永鑫, 等. 情绪主题绘本阅读对自闭症谱系障碍儿童情绪理解障碍的干预效果[J]. 心理发展与教育, 2019, 35(5): 566-572.
- WANG Wei, XU Zhi-yu, LI Yong-xin, et al. The Intervention Effect of Emotional Picture Book Reading on Emotion Understanding Disorder of Children with Autism Spectrum Disorder[J]. Psychological Development and Education, 2019, 35(5): 566-572.
- [34] 龙丹妍, 陈芷晴, 魏沁洁, 等. 动画造型符号在自闭症儿童干预性治疗中的研究[J]. 包装世界, 2018(3): 96-100, 104.
- LONG Dan-yan, CHEN Zhi-qing, WEI Qin-jie, et al. The Research of Animated Modeling Symbols in Interventional Therapy for Autistic Children[J]. Packaging World, 2018(3): 96-100, 104.
- [35] KEINTZ K S, MIGUEL C F, KAO B, et al. Using Conditional Discrimination Training to Produce Emergent Relations between Coins and Their Values in Children with Autism[J]. Journal of Applied Behavior Analysis, 2011, 44(4): 909-913.
- [36] 张丙辰, 王艳群, 杨俞玲, 等. 基于视觉提示的 ASD 儿童绘本角色造型设计研究[J]. 包装工程, 2020, 41(22): 244-250.
- ZHANG Bing-chen, WANG Yan-qun, YANG Yu-ling, et al. Role Modeling Design of ASD Children's Picture Books Based on Visual Tips[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(22): 244-250.
- [37] 赵玉婉, 张丙辰, 王艳群, 等. 基于视觉认知的自闭症儿童干预图卡角色造型设计研究[J]. 图学学报, 2020, 41(3): 461-468.
- ZHAO Yu-wan, ZHANG Bing-chen, WANG Yan-qun, et al. Research on Role Modeling Design of Intervention Card for Autistic Children Based on Visual Cognition[J]. Journal of Graphics, 2020, 41(3): 461-468.
- [38] 杨凌燕, 肖非. 自闭症儿童依恋行为、消极行为与母亲抚养困难感受程度的关系研究[J]. 中国特殊教育, 2012(12): 40-46.
- YANG Ling-yan, XIAO Fei. Autistic Children's Attachment Behavior and Negative Behavior and Their Relationship with Their Mothers' Perceived Parenting Stress[J]. Chinese Journal of Special Education, 2012(12): 40-46.
- [39] 美国疾病控制和预防中心(CDC). [(2022-06-11). <https://www.cdc.gov/>.
- Centers for Disease Control and Prevention (CDC). [2021-09-30](2022-06-11). <https://www.cdc.gov/>.
- [40] ZENTNER M R. Preferences for Colours and Colour—Emotion Combinations in Early Childhood[J]. Developmental Science, 2001, 4(4): 389-398.
- [41] 陈侃, 申荷永. 神经症躯体化倾向的绘画诊断研究[J]. 心理科学, 2004, 27(5): 1236-1238.
- CHEN Kan, SHEN He-yong. A Research on the Physical Symptom in the Projective Drawing Test[J]. Psychological Science, 2004, 27(5): 1236-1238.
- [42] 杨静, 张嘉敏. 基于儿童认知的博物馆交互体验设计策略研究[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 57-62, 92.
- YANG Jing, ZHANG Jia-min. The Design Strategy of Museum Interactive Experience Based on Children's Cognition[J]. Packaging Engineering, 2021, 42(8): 57-62, 92.
- [43] 张洁, 陈顺森, 江雪芳, 等. 自闭症谱系障碍儿童对玩具类别的注意偏向[J]. 闽南师范大学学报(自然科学版), 2015, 28(3): 127-132.
- ZHANG Jie, CHEN Shun-sen, JIANG Xue-fang, et al. Attention Bias of Children with Autism Spectrum Disorders in Different Categories of Toys[J]. Journal of Minnan Normal University (Natural Science), 2015, 28(3): 127-132.
- [44] 张丙辰, 王艳群, 宋丽姝, 等. 基于多视角意象差异性的列车设施造型设计研究[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 675-678.
- ZHANG Bing-chen, WANG Yan-qun, SONG Li-shu, et al. On Modeling Design of Train Facilities Based on Differences in Multi-View Visual Images[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 675-678.
- [45] NEUHAUS E, BERNIER R, BEAUCHAINE T P. Brief Report: Social Skills, Internalizing and Externalizing

- Symptoms, and Respiratory Sinus Arrhythmia in Autism[J]. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2014, 44(3): 730-737.
- [46] CHENG Y C, HUANG Yu-chen, HUANG W L. Heart Rate Variability in Individuals with Autism Spectrum Disorders: A Meta-Analysis[J]. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 2020, 118: 463-471.
- [47] KUIPER M W M, VERHOEVEN E W M, GEURTS H M. Heart Rate Variability Predicts Inhibitory Control in Adults with Autism Spectrum Disorders[J]. *Biological Psychology*, 2017, 128: 141-152.
- [48] 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(2): 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(2): 261-265.
- [49] 谢业雷, 任杰, 虞定海, 等. 24周太极拳锻炼对中老年人 心率变异性的影响[J]. *中国运动医学杂志*, 2011, 30(9): 842-844.  
XIE Ye-lei, REN Jie, YU Ding-hai, et al. Effect of 24-Week Tai Ji Chuan Exercise on Heart Rate Variability of Middle-Aged and Elderly People[J]. *Chinese Journal of Sports Medicine*, 2011, 30(9): 842-844.
- [50] 曹淑芹, 费雯, 孙爱军. 4-6.5岁自闭症幼儿颜色偏好的实验研究[J]. *中国特殊教育*, 2012(5): 46-52.  
CAO Shu-qin, FEI Wen, SUN Ai-jun. An Experimental Research into the Color Preferences of Autistic Children Aged between 4 and 6.5[J]. *Chinese Journal of Special Education*, 2012(5): 46-52.
- [51] 梁九清, 张萌, 刘思雨, 等. 主角大小和主线索颜色对3~6岁自闭症儿童绘本阅读视觉偏好的影响[J]. *中国特殊教育*, 2021(4): 51-57.  
LIANG Jiu-qing, ZHANG Meng, LIU Si-yu, et al. The Effects of Protagonist Size and Main Cue Color on Visual Preference of 3 to 6-Year-Old Children with Autism in Picture Book Reading[J]. *Chinese Journal of Special Education*, 2021(4): 51-57.
- [52] 游士兵, 严研. 逐步回归分析法及其应用[J]. *统计与决策*, 2017(14): 31-35.  
YOU Shi-bing, YAN Yan. Stepwise Regression Analysis and Its Application[J]. *Statistics & Decision*, 2017(14): 31-35.

责任编辑: 陈作

(上接第139页)

- [13] 赵艳晓, 应放天, 方倩怡, 等. 基于FAHP的肿瘤儿童医疗游戏辅导玩具设计研究[J]. *包装工程*, 2022, 43(4): 135-141.  
ZHAO Yan-xiao, YING Fang-tian, FANG Qian-yi, et al. Design of Medical Games Tutorship Toys for Children with Tumor Based on FAHP[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(4): 135-141.
- [14] 陈宁峰, 章彰, 戴宇轩. 基于INPD与熵权法的居家适老护理床设计[J]. *包装工程*, 2022, 43(14): 107-114, 138.  
CHEN Ning-feng, ZHANG Zhang, DAI Yu-xuan. Design of Aging Care Bed Based on INPD and Entropy Weight Method[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(14): 107-114, 138.
- [15] 李晓杰, 梁健. 基于INPD与KE的老年人辅助陪伴机器人造型设计[J]. *包装工程*, 2020, 41(24): 70-78.  
LI Xiao-jie, LIANG Jian. Design of Assisted Companion Robot for the Elderly Based on INPD and KE[J]. *Packaging Engineering*, 2020, 41(24): 70-78.
- [16] 彭鹏, 胡昌格, 柴敏. 基于模糊综合评价法的除雪机设计评价应用[J]. *包装工程*, 2022, 43(14): 59-65.  
PENG Peng, HU Chang-ge, CHAI Min. Application of Snow Thrower Design Evaluation Based on Fuzzy Comprehensive Evaluation Method[J]. *Packaging Engineering*, 2022, 43(14): 59-65.

责任编辑: 马梦遥