

具身代理注视和语音会话情绪对用户主观感知 和外周生理反应的影响研究*

李峰香¹ 郭伏¹ 任增根¹ 李明明² 田晓慧¹

(1. 东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110167;
2. 安徽工业大学 管理科学与工程学院, 安徽 马鞍山 243032)

摘 要 注视行为和语音表达是人-代理交互中重要的拟人化特征, 影响用户接受具身代理作为虚拟社交伙伴的意愿。鲜有证据表明注视和语音会话情绪对用户感知的交互影响, 特别是对用户神经活动的影响。结合主观报告和外周生理测量方法, 对不同注视(有注视与无注视)和情绪(积极情绪与消极情绪)的语音会话进行了双因素混合设计实验。结果表明, 代理注视会提高行为类人度、代理专注度、代理好感度和代理接受度的感知评价, 积极情绪会使用户的外周生理反应增强。注视和情绪共同影响代理好感度和代理接受度以及外周生理反应, 用户在积极情绪会话中更愿意接受注视用户的代理作为虚拟社交伙伴。

关键词 具身代理, 注视, 语音会话情绪, 代理接受度, 虚拟社交伙伴

中图分类号 TP18

1 引言

具身代理(embodied agent)的定义为“可以遵循人际交往的社会规则自主地与人类互动的具有虚拟形象的计算机控制的个体”^[1]。具身代理和机器人都属于人工社交代理(artificial social agent, ASA), 具身代理比机器人的外观设计更加多样且操纵性更强。随着信息技术的发展, 具身代理由于其在未来社会的应用性受到各界的广泛关注, 如电子健康^[2]、在线教育^[3]和电子商务^[4]等。除了发挥以上实用性功能, 其在心理健康领域的应用也逐渐获得 ASA 研究领域的关注^[5], 例如, 已有具身代理实现了结合用户语言和非语言(面部表情、注视、身体动作等线索)分析诊断用户的心理健康状态, 并做出相应的表达移情心理的语言和动作反馈^[6]。将具身代理作为心理健康干预手段不仅需要充足的用户语言和非语言分析技术^[7], 还需要用户主观上与代理交互的意愿^[8]。许多研究已经注意到具身代理如何作为社交伙伴改善人们的心理健康状况, 例如, 研究表明孤独老年用户群体对提供长期、持续的社会支持的虚拟代理伴侣表现出积极的态度^[6], 具身代理作为学习伙伴可以培养学生的移情能力, 从而帮助学生提高处理失败和挫折的情感自我意识^[9]。青年人(18~30周岁)处于从家庭到社会的过渡期, 容易产生孤独感。因此, 社交伙伴类具身代理同样适用于青年用户群体, 如何针对青年用户群体设计出可以实现与用户实时进行语音会话, 并建立长期陪伴关系的具身代理, 成为具有实践意义的

* 基金项目: 国家自然科学基金资助面上项目(72071035)。

通信作者: 郭伏, 东北大学工商管理学院, 教授, E-mail: fguo@mail.neu.edu.cn。

研究问题。研究表明,提高代理好感度和接受度可以帮助人们建立与代理相对稳定和亲密的关系^[10],其主要影响因素是代理的拟人化特征,即代理表现出人类特征的程度。具身代理的拟人化特征主要体现在以下三个方面:①非语言行为,如声音、注视、身体动作、面部表情与身体动作、注视与身体动作、注视与头部动作、注视与呼吸、手势一致性等;②语言行为,如认知记忆;③外观、面部表情、身体体现^[11]。

用户对拟人化特征的感知和反应包括内隐和外显的表达,包括主观感知、行为反应和生理活动^[12,13]。代理的注视行为和语音表达可以较为直观、显著地影响用户的情绪及心理状态,是在语音会话中体现代理拟人化特征的关键影响因素。代理注视可以让用户在会话中有一种“被看着”的感觉,可以提高用户对代理的主观感知,如代理行为类人程度和专注度^[14]。对话中机器人的注视能让用户感知到更多的社交属性,增强机器人的类人感知,使其更容易被用户喜欢和接受^[15]。此外,情绪表达提高了用户对代理的行为类人度的感知,对人-代理语音会话中的代理好感度和交互效果有重要影响^[16],从社交伙伴类具身代理的社交功能属性可以推测,其情绪表达对代理好感度和接受度的影响可能更为显著。

已有相关研究对代理注视和情绪对用户神经生理反应的影响达成了有限的共识^[17,18]。例如,注视提示任务中机器人注视引起了更高的脑电 alpha 节律波,表明用户更愿意参与互动^[19],注视还可以诱发用户更高的情感体验,引起肌电信号增强^[20]。关于代理情绪的研究主要对比了表达情绪和不表达情绪的代理带给用户的感知差异(如好感度和接受度)以及相应的神经生理反应(如肌电、心电等)^[21,22]。社会学家认为互动过程中的行为只有在考虑到他人实际或预期反应时才有意义^[23],同理,具身代理需要根据用户不同情绪状态做出反馈才可以实现有效的互动。因此,探究语音会话中积极情绪和消极情绪如何影响用户主观感知和神经生理反应,有利于人们更好地理解两种情绪状态与用户心理生理反应的关系,进一步拓展人与代理语音会话情绪的研究结论。

代理注视不仅可以提高交互过程中用户对代理行为类人度、专注度的感知评价^[7,24],还可以提升用户对代理的好感度^[25],以上主观感知是影响用户接受代理作为虚拟社交伙伴的重要因素^[26]。代理注视行为可以反映在语音会话中代理投入的注意力和参与程度^[27],并且吸引用户投入更多的注意力资源,引发用户更强的神经生理反应,如较高的心率反应^[28]。研究证明大脑对注视具有敏感性,代理注视会影响用户的行为和神经反应,例如加快人们对交互对象的面部表情识别和情绪感知,提高人们与代理的交流意愿^[29],增强大脑神经活动,引发用户大脑内侧前额叶皮层神经的显著激活^[30],诱发用户较为显著的面部肌电信号变化^[31]。因此,可以推测代理注视行为可能在一定程度上提高用户对代理的感知评价(行为类人度、专注度、代理好感度、代理接受度),影响用户的行为反馈(如注视、表情等),以及增强用户的神经生理反馈(如面部肌电、心电、皮肤电、脑电等)。由此提出本文的研究假设。

H1:在语音会话中代理注视会提高用户对具身代理的行为类人度、专注度、好感度和接受度的感知评价,并使用户的外周生理反应增强。

具身代理可以通过面部表情、语音等方面表达自身情绪。研究表明,代理表达情绪能力越高,代理行为类人度的感知评价越高^[32],代理情绪表达也会影响代理好感度^[33]和接受度的主观感知^[26],表达积极/消极情绪代理比表达中性情绪代理的好感度和接受度感知评价更高^[34]。然而有研究显示,表达积极情绪的教学代理相比于无情绪表达的代理反而会被认为是虚假的,并且其专注度评价较低^[35],这可能是由于教学代理与学生之间的师生社会关系引发了学生用户群体的特异心理反应。在人-代理社交互动中代理情绪和用户情绪共同组成语音会话情绪,当两者一致时,用户对表达积极情绪代理的喜爱度和接受度感知评价更高^[36],然而鲜有研究关注消极语音会话情绪下代理好感度和接受度的用户主观感知。虽然较难依据已有研究结论区分积极和消极语音会话情绪对代理行为类人度、专注度、好感度和接受度的影

响,但是结合现实人际社交经验可以推测,相比于消极情绪,积极情绪可能会引发更高的代理行为类人度、专注度、好感度和接受度的感知评价。此外,情绪还会影响语音交互中的用户神经生理反应,例如,积极情绪比消极情绪刺激诱发更强的用户神经活动^[37],这种神经活动的变化体现在用户的肌电、心率、皮肤电和脑电等一系列神经生理反应增强,诱发更强的肌电和脑电信号、更快的心率等^[38, 39, 20]。因此,提出本文的研究假设。

H2: 在语音会话中积极情绪会提高用户对具身代理的行为类人度、专注度、好感度和接受度的感知评价,并使用户的外周生理反应增强。

作为拟人化特征的表现形式,语音会话中代理注视和情绪可能具有交互作用^[40],代理注视使代理行为更加自然且符合人类的行为特征,从而唤起用户的好感度和使用意愿,这可能需要匹配一个相对积极的语音会话情绪而不是消极情绪来达到一致的拟人化水平,从而有助于用户对代理注视的感知和处理。相应地,用户的神经生理反应也可能会在一定程度上增强。相反,当代理注视行为与消极的语音会话情绪匹配时,两者可能无法构成一致的拟人化水平,会减弱代理注视的效果。用户的神经生理活动也可能会在一定程度减弱或保持不变。因此,提出本文的研究假设。

H3: 当代理注视用户时,积极情绪会提高代理行为类人度、专注度、好感度和接受度的感知评价,并使用户的外周生理反应增强。

本文测量的用户主观感知包括四个维度,节选自人与代理交互的标准化测量问卷(artificial social agent questionnaire, ASAQ),分别为行为类人程度(human-like behaviour, HLB)、代理专注度(agent's attentiveness, AA)、代理好感度(agent's likeability, AL)和代理接受度(user acceptance of the agent, UAA)^[41]。使用外周生理测量方法反映代理注视和语音会话情绪对用户神经生理反应的影响,包括面部肌电(facial electromyography, fEMG)、心电(electrocardiography, ECG)和皮肤电反应(galvanic skin response, GSR),反映用户的情绪自主神经反应。结合主观报告和外周生理测量方法,从心理层面探究代理注视(有注视、无注视)和语音会话情绪(积极情绪、消极情绪)如何影响用户对代理行为类人度、专注度、好感度和接受度的主观感知,并利用外周生理反应的相关指标从生理层面解释潜在影响机制,为设计出青年用户接受度高的社交伙伴类具身代理提供理论依据。

2 研究方法

2.1 被试选择

招募 30 名在校大学生作为被试参与实验,所有被试视力或矫正视力正常,均为右利手,没有神经或精神疾病史。30 名被试年龄平均值为 23.86 (SD = 1.604),被试性别比例为 1 : 1。通过问卷调查发现被试之前很少或没有具身代理使用经验。在实验正式开始前,被试被告知实验流程,并自愿签署书面实验同意书。

2.2 实验材料

已有研究表明,人们更喜欢与自己性别一致的代理^[42]。代理性别不是本文关注的自变量,为了平衡代理性别的影响,在预实验中分别挑选出评价最高的女性大学生和男性大学生作为具身代理形象,开展实验研究时每个自变量水平组合条件下都包括两种性别的代理形象。实验采取双因素混合设计,组内变量为注视,分为有注视与无注视两个水平,使用专业绘图软件分别对女性和男性代理的注视方向进行了

设计，代理注视的两个水平如表 1 所示。组间变量为情绪，即语音会话情绪，分为积极情绪与消极情绪两个水平，每种情绪包含四段表达相同情绪和语境的代理语音脚本，语音脚本内容设计分别符合用户积极情绪和消极情绪的语音会话情绪基调，从而表现代理的移情能力^[43]，情绪的两个水平包含的语音脚本内容设计如表 1 所示。积极情绪组和消极情绪组分别包含 15 名被试，每名被试需要参与 16 段与代理交互的情景（2 种代理性别×4 段语音脚本×2 种代理注视），16 段语音会话情景随机呈现给被试。使用 7 种人工智能语音合成软件分别设计年轻女性和男性代理的语音脚本，3 名博士研究生共同挑选出其中一款语音合成软件，要求合成语音可以较为自然地表达语音脚本传达的积极/消极情绪，且合成语音发音清晰、声音符合选取的女性和男性大学生形象。使用软件合成语音脚本时，为了尽可能减少误差的引入，控制女性和男性代理的声学参数保持一致，包括语音片段采样率、响度等。因此，积极/消极情绪组语音片段的差异仅由语音脚本内容引起，且每种语音脚本内容都包含女性和男性代理两种版本，以平衡代理性别对研究结果的影响。实验材料选取的具身代理图片均公开发布在商业图片素材网站上，且已经获得人物肖像使用权。

表 1 不同注视和情绪条件组合

自变量	水平	说明
注视	有注视	代理在语音会话过程中注视用户眼睛
	无注视	代理在语音会话过程中注视用户左侧方向
情绪	积极情绪	代理感知到用户心情愉悦，主动与用户对话，询问是否发生了令用户开心的事情，并对用户进行祝贺
	消极情绪	代理感知到用户心情低落，主动与用户对话，询问是否发生了令用户伤心的事情，并对用户进行安慰

2.3 实验过程

在脑电（electroencephalography，EEG）实验室进行实验，实验室防噪且照明光线柔和。邀请被试进入实验室后告知被试整个实验流程。给被试穿戴好面部肌电、心电和皮肤电反应测量设备以后，要求被试以舒服的姿势安静地休息，使被试达到平静状态。分别给积极情绪组和消极情绪组被试观看一段时长约 3 分钟的积极/消极情绪唤起视频，以诱发不同情绪组被试产生开心/悲伤的情绪。积极/消极情绪唤起视频的内容仅为人们表现开心/悲伤情绪的音乐视频片段剪辑，不包含任何语言和情节等无关信息的引导，以尽可能减少视频内容引起的启动效应的差异。为了验证被试在观看积极/消极情绪唤起视频后诱发了积极/消极情绪，被试在观看情绪唤起视频前、观看情绪唤起视频后两个时间节点分别填写了积极消极情绪测量问卷（positive affect negative affect schedule，PANAS），即进行了平静状态下的情绪前测和情绪唤起操纵后的情绪后测。配对样本 *t* 检验结果表明，相比于平静状态，积极情绪组被试在观看积极情绪唤起视频后积极情绪显著提高（*p* = 0.020），而消极情绪组被试在观看消极情绪唤起视频后消极情绪显著提高（*p* < 0.001）。实验任务采用 E-Prime 2.0 软件编程控制，实验过程示意图如图 1 所示。实验正式开始后，要求被试认真阅读屏幕上的实验指导语，单击鼠标左键后，呈现 1000~1200ms 的十字空屏，然后屏幕中央随机呈现 16 段语音会话情景，模拟被试正在与代理进行语音会话。由于代理语音脚本不相同，语音会话时间不等，最多不超过 20 秒。被试随机完成 16 段语音会话情景后，结束外周生理数据的采集。

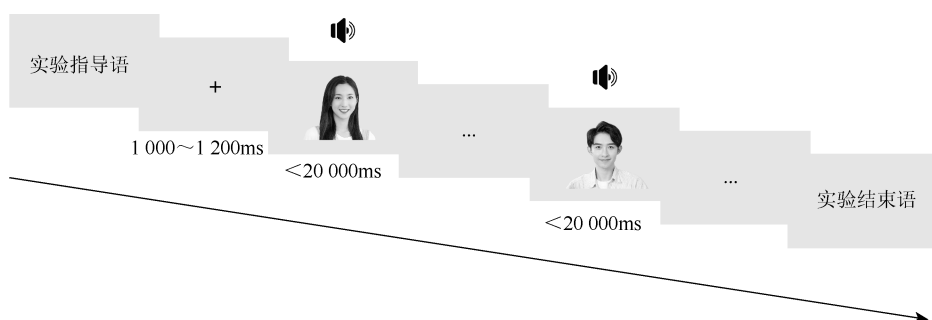


图 1 实验过程示意图

2.4 数据采集

1. 外周生理数据采集

常用的肌电指标包括积分肌电值 (integrated electromyography, IEMG)、均方根 (root mean square, RMS) 和中值频率 (median frequency, MF), 其中 IEMG 和 RMS 为时域分析指标, 反映局部肌肉运动, MF 为频域分析指标, 反映局部肌肉疲劳^[44]。心率 (heart rate, HR) 是反映自主神经系统活动的主要指标, 相邻 NN 间期之差的均方根值 (root mean square of successive differences, RMSSD) 是心率变异性的一个重要参数, 可以反映副交感神经的活动性^[11]。皮肤电导反应 (skin conductance response, SCR) 是阶段性交感神经放电, 反映由刺激引起的生理和心理激活状态, 常用的指标为皮肤电反应峰值个数。皮肤电导水平 (skin conductance level, SCL) 是跨越皮肤两点间的皮肤电导的绝对值, 常用来反映阶段性情绪唤醒水平^[45]。

使用 EMG100C 放大器和 MEC110C 电极线组采集面部肌电信号, 将正、负两个电极片贴于左侧脸颊颧肌, 参考电极贴于左侧耳后乳突。使用 ECG100C 放大器和 MEC110C 电极线组采集心电信号, 将正、负电极贴于左下腹、右锁骨中线与第二肋之间交点, 参考电极贴于左锁骨中线与第二肋之间交点。对于肌电和心电信号采集, 贴电极片前使用酒精棉片擦拭相应位置。使用 GSR100C 放大器和 TSD203 皮肤阻抗传感器采集皮肤电信号, 将两个电极分别贴于左手大鱼际肌和小鱼际肌, 贴电极片前要求被试洗手, 防止汗液干扰数据采集。

2. 主观评价数据采集

外周生理实验结束后, 移除外周生理测量设备。被试在笔记本电脑上重新观看随机呈现的 16 段语音会话情景, 并根据主观感受对每段语音会话情景进行问卷评分, 问卷包括行为类人程度、代理专注度、代理好感度和代理接受度四个变量的 16 个题项。使用 7 级利克特量表对问卷题项进行评分, 其中“-3”表示“不同意”, “+3”表示“同意”, “0”表示“既不同意也不反对”。

2.5 数据分析

1. 外周生理数据分析

使用 Python NeuroKit2 包进行肌电、心电和皮肤电反应数据的预处理, 采用低通 450Hz, 高通 20Hz 的六阶巴特沃斯带通滤波器对原始肌电、心电和皮肤电信号进行滤波处理^[46], 而后采用自编脚本计算 IEMG、RMS、MF、HR、RMSSD、SCR 和 SCL。将预处理后的肌电、心电和皮肤电数据分别在积极情绪和消极情绪组进行标准化处理, 并剔除异常值。

2. 主观评价数据分析

使用数据处理软件 R (v 4.2.1) 将主观问卷的逆向题项评分取相反数, 将主观评价数据分别在积极情绪和消极情绪组进行标准化处理, 并剔除异常值, 然后分别计算行为类人程度、代理专注度、代理好感度和代理接受度四个变量的题项均值作为主观评价变量的最终分值。

3 分析结果

3.1 外周生理数据分析结果

3.1.1 面部肌电数据分析结果

面部肌电、心电和皮肤电反应指标的重复测量方差分析结果如表 2 所示。结果表明, 注视对 IEMG 的主效应不显著 [$F(1, 294) = 1.976, p = 0.161, \eta_p^2 = 0.007$], 情绪对 IEMG 的主效应显著 [$F(1, 294) = 7.897, p = 0.005, \eta_p^2 = 0.026$], 积极情绪 ($M = 0.147, SD = 0.011$) 比消极情绪 ($M = 0.102, SD = 0.011$) 的 IEMG 更大。注视和情绪对 IEMG 的交互效应显著 [$F(1, 294) = 7.260, p = 0.007, \eta_p^2 = 0.024$]。简单效应分析结果表明, 代理有注视时, 积极情绪 ($M = 0.161, SD = 0.172$) 比消极情绪 ($M = 0.097, SD = 0.115$) 的 IEMG 更大 ($p < 0.001$), 而无注视时, 积极情绪 ($M = 0.133, SD = 0.148$) 与消极情绪 ($M = 0.106, SD = 0.157$) 无显著差异 ($p = 0.133$); 对于积极情绪, 代理有注视 ($M = 0.160, SD = 0.012$) 比无注视 ($M = 0.133, SD = 0.013$) 诱发更大的 IEMG ($p = 0.005$), 而对于消极情绪, 有注视 ($M = 0.097, SD = 0.012$) 与无注视 ($M = 0.106, SD = 0.012$) 之间无显著差异 ($p = 0.356$)。

表 2 面部肌电、心电和皮肤电反应指标的重复测量方差分析结果

类型	指标	方差来源	自由度	均方	<i>F</i>	<i>p</i>	η_p^2
面部肌电	IEMG	注视	1	0.013	1.976	0.161	0.007
		注视×情绪	1	0.049	7.260	0.007	0.024
		误差	294	0.007			
		情绪	1	0.299	7.897	0.005	0.026
		误差	294	0.299	7.897	0.005	0.026
	RMS	注视	1	0.013	1.462	0.228	0.005
		注视×情绪	1	0.052	5.657	0.018	0.019
		误差	294	0.009			
		情绪	1	0.110	2.698	0.102	0.009
		误差	294	0.041			
	MF	注视	1	0.105	6.083	0.014	0.020
		注视×情绪	1	0.060	3.499	0.062	0.012
		误差	294	0.017			
		情绪	1	0.578	6.507	0.011	0.022
		误差	294	0.089			

续表

类型	指标	方差来源	自由度	均方	F	p	η_p^2
心电	HR	注视	1	0.001	0.158	0.691	0.001
		注视×情绪	1	0.025	4.580	0.033	0.015
		误差	294	0.006			
		情绪	1	0.597	5.256	0.023	0.018
		误差	294	0.114			
	RMSSD	注视	1	<0.001	0.009	0.923	<0.001
		注视×情绪	1	0.003	0.283	0.595	0.001
		误差	294	0.009			
		情绪	1	3.315	59.237	<0.001	0.168
		误差	294	0.056			
皮肤电	SCR	注视	1	<0.001	0.002	0.964	<0.001
		注视×情绪	1	0.075	2.117	0.147	0.007
		误差	294	0.036			
		情绪	1	0.616	15.179	<0.001	0.049
		误差	294	0.041			
	SCL	注视	1	<0.001	0.063	0.802	<0.001
		注视×情绪	1	<0.001	0.058	0.810	<0.001
		误差	294	0.001			
		情绪	1	1.212	7.297	0.007	0.024
		误差	294	0.166			

注：粗体表示显著性水平 $p<0.05$

注视对 RMS 的主效应不显著[$F(1, 294) = 1.462, p = 0.228, \eta_p^2 = 0.005$]，情绪对 RMS 的主效应不显著[$F(1, 294) = 2.698, p = 0.102, \eta_p^2 = 0.009$]。注视和情绪对 RMS 的交互效应显著 [$F(1, 294) = 5.657, p = 0.018, \eta_p^2 = 0.019$]。简单效应分析结果表明，代理有注视时，积极情绪（ $M = 0.162, SD = 0.178$ ）比消极情绪（ $M = 0.116, SD = 0.130$ ）的 RMS 更大（ $p = 0.011$ ），而无注视时，积极情绪（ $M = 0.134, SD = 0.155$ ）与消极情绪（ $M = 0.126, SD = 0.166$ ）无显著差异（ $p = 0.646$ ）；对于积极情绪，代理有注视（ $M = 0.162, SD = 0.013$ ）比无注视（ $M = 0.134, SD = 0.013$ ）诱发更大的 RMS（ $p = 0.013$ ），而对于消极情绪，有注视（ $M = 0.116, SD = 0.013$ ）与无注视（ $M = 0.126, SD = 0.013$ ）无显著差异（ $p = 0.403$ ）。

注视对 MF 的主效应显著[$F(1, 294) = 6.083, p = 0.014, \eta_p^2 = 0.020$]，代理有注视（ $M = 0.351, SD = 0.013$ ）比无注视（ $M = 0.377, SD = 0.014$ ）诱发更小的 MF。情绪对 MF 的主效应显著 [$F(1, 294) = 6.507, p = 0.011, \eta_p^2 = 0.022$]，积极情绪（ $M = 0.333, SD = 0.018$ ）比消极情绪（ $M = 0.395, SD = 0.017$ ）的 MF 更小（ $p = 0.011$ ）。注视与情绪的交互效应不显著 [$F(1, 294) = 3.499, p = 0.062, \eta_p^2 = 0.012$]。

3.1.2 心电数据分析结果

注视对 HR 的主效应不显著 [$F(1, 294) = 0.158, p = 0.691, \eta_p^2 = 0.001$]，情绪对 HR 的主效应显著 [$F(1, 294) = 5.256, p = 0.023, \eta_p^2 = 0.018$]，积极情绪（ $M = 0.559, SD = 0.020$ ）比消极情绪（ $M = 0.496,$

SD = 0.019) 的 HR 更大。注视和情绪对 HR 的交互效应显著 [$F(1, 294) = 4.580, p = 0.033, \eta_p^2 = 0.015$]。简单效应分析结果表明, 代理有注视时, 积极情绪 ($M = 0.552, SD = 0.225$) 与消极情绪 ($M = 0.501, SD = 0.263$) 无显著差异 ($p = 0.078$), 而无注视时, 积极情绪 ($M = 0.567, SD = 0.223$) 比消极情绪 ($M = 0.491, SD = 0.261$) 的 HR 更大 ($p = 0.007$)。

注视对 RMSSD 的主效应不显著 [$F(1, 294) = 0.009, p = 0.923, \eta_p^2 < 0.001$], 情绪对 RMSSD 的主效应显著 [$F(1, 294) = 59.237, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.168$], 积极情绪 ($M = 0.288, SD = 0.014$) 的 RMSSD 显著大于消极情绪 ($M = 0.138, SD = 0.014$)。注视与情绪的交互效应不显著 [$F(1, 294) = 0.283, p = 0.595, \eta_p^2 = 0.001$]。

3.1.3 皮肤电反应数据分析结果

注视对 SCR 的主效应不显著 [$F(1, 294) = 0.002, p = 0.964, \eta_p^2 < 0.001$], 情绪对 SCR 的主效应显著 [$F(1, 294) = 15.179, p < 0.001, \eta_p^2 = 0.049$], 积极情绪 ($M = 0.226, SD = 0.012$) 的 SCR 显著大于消极情绪 ($M = 0.162, SD = 0.012$)。注视与情绪的交互效应不显著 [$F(1, 294) = 2.117, p = 0.147, \eta_p^2 = 0.007$]。

注视对 SCL 的主效应不显著 [$F(1, 294) = 0.063, p = 0.802, \eta_p^2 < 0.001$], 情绪对 SCL 的主效应显著 [$F(1, 294) = 7.297, p = 0.007, \eta_p^2 = 0.024$], 积极情绪 ($M = 0.219, SD = 0.024$) 的 SCL 显著小于消极情绪 ($M = 0.309, SD = 0.023$)。注视与情绪的交互效应不显著 [$F(1, 294) = 0.058, p = 0.810, \eta_p^2 < 0.001$]。

3.2 主观评价数据分析结果

主观评价指标的重复测量方差分析结果如表 3 所示。结果表明, 注视对 HLB 的主效应显著 [$F(1, 262) = 11.800, p = 0.001, \eta_p^2 = 0.043$], 有注视 ($M = 0.636, SD = 0.016$) 比无注视 ($M = 0.569, SD = 0.016$) 的 HLB 评分更高, 情绪对 HLB 的主效应不显著 [$F(1, 262) = 3.539, p = 0.061, \eta_p^2 = 0.013$]。注视与情绪的交互效应不显著 [$F(1, 262) = 3.837, p = 0.051, \eta_p^2 = 0.014$]。

表 3 主观评价指标的重复测量方差分析结果

指标	方差来源	自由度	均方	F	Sig.	η_p^2
HLB	注视	1	0.599	11.800	0.001	0.043
	注视×情绪	1	0.195	3.837	0.051	0.014
	误差	262	0.051			
	情绪	1	0.304	3.539	0.061	0.013
	误差	262	0.086			
AA	注视	1	13.386	141.667	<0.001	0.351
	注视×情绪	1	0.081	0.852	0.357	0.003
	误差	262	0.094			
	情绪	1	0.008	0.084	0.772	<0.001
	误差	262	0.091			
AL	注视	1	3.468	77.848	<0.001	0.229
	注视×情绪	1	0.626	14.059	<0.001	0.051
	误差	262	0.045			

续表

指标	方差来源	自由度	均方	<i>F</i>	Sig.	η_p^2
AL	情绪	1	0.006	0.059	0.808	<0.001
	误差	262	0.096			
UAA	注视	1	2.808	62.285	<0.001	0.192
	注视×情绪	1	0.251	5.574	0.019	0.021
	误差	262	0.045			
	情绪	1	0.234	1.967	0.162	0.007
	误差	262	0.119			

注：粗体表示显著性水平 $p<0.05$

注视对 AA 的主效应显著[$F(1, 262) = 141.667, p<0.001, \eta_p^2 = 0.351$],有注视($M = 0.726, SD = 0.017$)比无注视($M = 0.407, SD = 0.020$)的 AA 评分更高, 情绪对 AA 的主效应不显著 [$F(1, 262) = 0.084, p = 0.772, \eta_p^2 < 0.001$]。注视与情绪的交互效应不显著 [$F(1, 262) = 0.852, p = 0.357, \eta_p^2 = 0.003$]。

注视对 AL 的主效应显著[$F(1, 262) = 77.848, p<0.001, \eta_p^2 = 0.229$],有注视($M = 0.677, SD = 0.016$)比无注视($M = 0.515, SD = 0.016$)的 AL 评分更高, 情绪对 AL 的主效应不显著 [$F(1, 262) = 0.059, p = 0.808, \eta_p^2 < 0.001$]。注视和情绪的交互效应显著 [$F(1, 262) = 14.059, p<0.001, \eta_p^2 = 0.051$]。简单效应分析结果表明, 有注视时, 积极情绪($M = 0.640, SD = 0.293$)比消极情绪($M = 0.715, SD = 0.237$)的 AL 评分更低($p = 0.023$), 而无注视时, 积极情绪($M = 0.547, SD = 0.267$)与消极情绪($M = 0.484, SD = 0.257$)无显著差异($p = 0.055$);对于积极情绪, 有注视($M = 0.640, SD = 0.023$)比无注视($M = 0.546, SD = 0.022$)的 AL 评分高, 对于消极情绪, 有注视($M = 0.715, SD = 0.024$)比无注视($M = 0.484, SD = 0.023$)的 AL 评分高($p<0.001$)。

注视对 UAA 的主效应显著 [$F(1, 262) = 62.285, p<0.001, \eta_p^2 = 0.192$], 有注视($M = 0.667, SD = 0.018$)比无注视($M = 0.521, SD = 0.018$)的 UAA 评分更高, 情绪对 UAA 的主效应不显著 [$F(1, 262) = 1.967, p = 0.162, \eta_p^2 = 0.007$]。注视和情绪的交互效应显著 [$F(1, 262) = 5.574, p = 0.019, \eta_p^2 = 0.021$]。简单效应分析结果表明, 有注视时, 积极情绪($M = 0.666, SD = 0.277$)与消极情绪($M = 0.668, SD = 0.295$)的 UAA 评分无显著差异($p = 0.964$), 而无注视时, 积极情绪($M = 0.564, SD = 0.292$)比消极情绪($M = 0.478, SD = 0.280$)的 UAA 评分更高($p = 0.016$);对于积极情绪, 有注视($M = 0.666, SD = 0.025$)比无注视($M = 0.564, SD = 0.025$)的 UAA 评分高, 对于消极情绪, 有注视($M = 0.668, SD = 0.025$)比无注视($M = 0.478, SD = 0.025$)的 UAA 评分高($p<0.001$)。

3.3 主观评价数据与外周生理数据相关性分析结果

通过相关分析探究用户主观评价数据和外周生理数据之间的关系, 结果如表 4 所示。相关分析结果表明, HLB、AA、AL 和 UAA 之间存在显著相关关系($p<0.001$)。AL 与 IEMG($p = 0.044$)和 RMS($p = 0.042$)之间存在显著相关关系。IEMG 与 RMS($p<0.001$)、MF($p<0.001$)、HR($p = 0.001$)、SCR($p = 0.033$)和 SCL($p = 0.001$)之间存在显著相关关系。RMS 与 MF($p<0.001$)、HR($p<0.001$)和 SCL($p = 0.028$)之间存在显著相关关系。MF 与 RMSSD 和 SCL 之间存在显著相关关系($p<0.001$)。HR 与 RMSSD 和 SCL 之间存在显著相关关系($p<0.001$)。RMSSD 与 SCR($p = 0.002$)和 SCL($p<0.001$)之间存在显著相关关系。SCR 与 SCL 之间存在显著的相关关系($p = 0.001$)。

表 4 测量变量之间的皮尔逊相关系数

皮尔逊相关性		HLB	AA	AL	UAA	IEMG	RMS	MF	HR	RMSSD	SCR	SCL
HLB	<i>r</i>	1	0.615	0.740	0.706	−0.077	−0.075	0.062	−0.031	−0.023	−0.034	0.044
	<i>p</i>		< 0.001	< 0.001	< 0.001	0.078	0.085	0.152	0.485	0.593	0.430	0.311
AA	<i>r</i>		1	0.746	0.666	−0.061	−0.056	<0.001	−0.006	−0.012	0.015	0.017
	<i>p</i>			< 0.001	< 0.001	0.159	0.202	0.997	0.899	0.790	0.727	0.699
AL	<i>r</i>			1	0.892	−0.088	−0.088	0.026	0.012	−0.027	0.028	0.009
	<i>p</i>				< 0.001	0.044	0.042	0.557	0.786	0.529	0.525	0.841
UAA	<i>r</i>				1	−0.057	−0.072	0.003	0.012	0.037	0.034	−0.031
	<i>p</i>					0.194	0.099	0.947	0.788	0.401	0.435	0.470
IEMG	<i>r</i>					1	0.976	−0.437	0.138	−0.020	0.088	−0.140
	<i>p</i>						< 0.001	< 0.001	0.001	0.620	0.033	0.001
RMS	<i>r</i>						1	−0.384	0.149	−0.047	0.064	−0.090
	<i>p</i>							< 0.001	< 0.001	0.253	0.118	0.028
MF	<i>r</i>							1	0.036	−0.153	−0.073	0.148
	<i>p</i>								0.385	< 0.001	0.075	< 0.001
HR	<i>r</i>								1	−0.501	0.035	0.236
	<i>p</i>									< 0.001	0.402	< 0.001
RMSSD	<i>r</i>									1	0.126	−0.241
	<i>p</i>										0.002	< 0.001
SCR	<i>r</i>										1	−0.131
	<i>p</i>											0.001
SCL	<i>r</i>											1
	<i>p</i>											

注：*r* 表示皮尔逊相关系数；*p* 表示显著性水平；粗体表示两个测量变量之间存在相关关系（*p*<0.05）

4 讨论

4.1 外周生理实验结果讨论

4.1.1 面部肌电分析结果讨论

情绪对面部肌电的积分肌电值的主效应显著，积极情绪比消极情绪的积分肌电值更大。积分肌电值反映一段时间内的肌肉放电量，可以利用分类器提取面部积分肌电值特征区分多种情绪^[47]。人体的面部肌肉会随着情绪的变化而变化^[48]，积分肌电值幅度也发生变化。研究表明，没有情绪压力的用户组的面部积分肌电值显著大于有情绪压力的用户组^[49]，与本文结果一致。注视和情绪对积分肌电值的交互效应显著，代理注视用户时，积极情绪的积分肌电值显著大于消极情绪，而代理不注视用户时，两种情绪差异不显著。这可能是由于代理注视有助于用户感知到代理表达的情绪^[50]，因而积极情绪的积分肌电值显著大于消极情绪，代理不注视用户则减弱了代理对积极或消极情绪的表达，用户对两种情绪的感知差异不显著。此外，对于积极情绪，代理注视增强了用户对积极情绪的感知，因而诱发更大的积分肌电值，

而对于消极情绪,消极情绪诱发的积分肌电值本身较小,代理注视对其影响很小,因而有注视和无注视两组的差异不显著。

注视和情绪对均方根的交互效应显著,与积分肌电值的简单效应分析结果一致。均方根是使用最为广泛的时域指标,表示一段时间内肌肉幅值大小,通常代表能量大小。研究表明,负性图片诱发的面部肌电反应显著低于正性和中性图片,面部颧肌的均方根可以作为积极情绪刺激的一个指标^[19],这与本文结论相符,即代理注视用户时,积极情绪比消极情绪的均方根更大。

注视对中值频率的主效应显著,代理有注视比无注视诱发更小的中值频率。中值频率是稳定的肌肉疲劳的指标,肌肉疲劳状态加剧,中值频率降低,其还可以作为特征识别多种情绪,如开心、伤心等^[24]。注视是社交互动中重要的线索^[51],代理注视用户会引起用户反向注视代理行为,造成颧肌负荷增大。情绪对中值频率的主效应显著,积极情绪比消极情绪的中值频率更小。“情感传染”指情绪可以通过模仿和情绪感染直接从一个个体转移到另一个个体,个体通过无意识地模仿他人的表情、语言、手势和行为,使得自身的情绪受到对方面部表情以及其他非语言线索的影响^[52]。因此,在语音会话中积极情绪用户反馈代理情绪需要更多的面部肌肉发力,使颧肌肌肉负荷加大,而这种情绪反馈很可能是用户无意识进行的情感反应。

4.1.2 心电分析结果讨论

情绪对心率的主效应显著,积极情绪用户的心率比消极情绪更快。心电信号不受人主观意识的支配,可较为客观地反映人的情感状态^[53]。研究表明,表达情绪的音乐比不表达情绪的音乐诱发被试更快的心率^[54],与消极情绪相关的心率反应会比积极情绪更晚出现,然而其持续时间更长^[55]。积极情绪组的实验材料使用户的交感神经系统活动加强,副交感神经系统活动减弱,因此积极情绪组的心率显著大于消极情绪,与已有研究结论一致。注视和情绪对心率的主交互效应显著,代理注视用户时,积极情绪与消极情绪的心率无显著差异,代理注视增强了代理对情绪的表达,但是两种情绪的差异不足以在心率指标上检测出来。代理不注视用户时,积极情绪比消极情绪的心率更快,代理不注视用户减弱了用户对两种情绪的感知,但是相比于消极情绪,积极情绪的心率反应更强烈。

情绪对 RMSSD 的主效应显著,积极情绪的均方根显著大于消极情绪,说明积极情绪的副交感神经活动减弱,心率变异性升高^[11]。研究表明,健康被试的心率变异性的均方根明显大于抑郁症患者^[56],虽然本文中消极情绪不足以引起用户的抑郁倾向,但两者的神经心理作用机制相似,积极情绪和消极情绪的用户感知差异显著,因而积极情绪用户的心率变异性更高。

4.1.3 皮肤电反应分析结果讨论

情绪对 SCR 和 SCL 的主效应显著,积极情绪的 SCR 显著大于消极情绪。研究表明,快乐音乐诱发的皮肤电导反应显著大于悲伤音乐^[57],健康被试组的 SCL 整体大于抑郁被试组^[14]。研究结果与已有研究一致,即积极情绪引起的生理心理激活水平显著高于消极情绪。

4.2 主观评价实验结果讨论

注视对行为类人程度和代理专注度的主效应显著,代理有注视比无注视的行为类人程度和代理专注度评分更高。社交互动中注视会引起情感和注意力相关的心理生理反应^[9],人形机器人与用户的眼神交流可以提高机器人的感知生命力和感知类人度^[58]。当代理外观所引起的用户期待不能被代理实际行为所满足时,代理类人外观的积极影响在人机交互中将显著减弱^[59]。同理,本文中符合人类社交注视行为规律(即有注视)的代理行为类人程度和代理专注度评分更高,根本原因可能是用户对代理注视行为的主观体验和期望是一致的。

注视对代理好感度的主效应显著,有注视比无注视的代理好感度评分更高,与已有研究一致,即有注视的机器人的感知好感度评价更高^[7]。注视和情绪的交互效应显著,代理注视用户时,积极情绪比消极情绪的代理好感度评分更低,而代理不注视用户时,两种情绪之间无显著差异。可能是由于消极情绪的用户更需要心理支持,使得消极情绪下的语音脚本对用户更具移情作用,引发了用户对代理更积极的评价^[60]。代理不注视用户则在一定程度上减弱了用户对两种情绪的感知差异。对于任何一种情绪,代理注视用户的代理好感度评分都比不注视更高,与人际交往的规律相符,即用户更喜欢在社交活动中与交互对象进行眼神交流^[9]。

注视对代理接受度的主效应显著,有注视比无注视的代理接受度评分更高。交互过程中的相互注视有利于识别面孔和面部表情^[61],并且对交互对象的吸引力和喜爱度评价有积极作用^[62, 63]。注视和情绪的交互效应显著,代理注视用户时,积极情绪与消极情绪的代理接受度评分无显著差异,代理注视增强了代理的情绪表达,但是用户对两种情绪的感知差异不足以在代理接受度评价上体现。代理不注视用户时,积极情绪的代理接受度评分更高,此时两组的代理接受度差异由语音脚本的情绪感知差异引起。对于任何一种情绪,代理注视用户的代理接受度评分都比不注视更高,注视增加了代理行为类人程度的感知,因此用户可能更愿意在积极情绪下接受与用户相互注视的代理作为虚拟社交伙伴。

4.3 主观评价与外周生理数据相关性结果讨论

由主观评价数据分析结果可知,注视和情绪会影响行为类人程度、代理专注度、代理好感度和代理接受度的感知评价,相关分析结果验证了四个主观评价变量之间存在显著相关关系。Wirtz 等开发了服务机器人接受模型(service robot acceptance model, sRAM),该模型在技术接受模型(technology acceptance model)的功能要素基础上增加了社会情感要素和关系要素,认为功能要素、社会情感要素和关系要素共同影响代理接受度^[64]。根据该模型,代理的行为类人程度、代理专注度和代理好感度共同影响代理接受度,为主观评价变量之间存在相关关系提供了理论依据。

相关分析结果表明,面部肌电、心电和皮肤电反应的指标之间存在一定的相关关系(一种生理测量方法至少有一个指标与另外两种生理测量方法的一个及以上指标存在显著相关关系)。面部肌电、心电和皮肤电反应都是个体情绪自主神经反应的测量方法,与用户的情绪相关,因此不同方法的测量指标之间存在相关性。

相关分析发现代理好感度与面部肌电反应之间存在相关关系,表明面部肌电反应可以在一定程度上反映用户对代理的好感度。肌电可以通过测量与面部表情相关的肌肉群(如颧骨肌群和皱眉肌群)的电活动来衡量情绪效价^[65],代理引起的情绪效价在用户与代理交互背景下通常与代理喜爱度相关^[66]。

然而未发现其他主观评价变量与外周生理测量指标之间的相关性。为了降低被试在实验过程中的脑力负荷,并减少被试不必要操作对外周生理实验数据的噪声干扰,主观评价变量的数据采集在实验过程结束后完成,而外周生理数据则是在实验过程中采集的,这种多模式测量实验方法在人机交互研究中被广泛采用。然而,两种数据采集时间差虽然很小,但是可能会在一定程度上影响主观评价数据与外周生理数据之间的相关性,尚需要开展后续研究探究潜在原因。

5 研究结论、意义与局限

本文结合外周生理测量技术和主观报告方法探究社交伙伴类具身代理的注视和语音会话情绪如何

影响用户神经生理反应, 以及如何影响用户对代理行为类人程度、代理专注度、代理好感度和代理接受度的感知评价。研究结果部分验证了 H1, 即在语音会话中代理注视会提高用户对具身代理的行为类人度、代理专注度、代理好感度和代理接受度的感知评价, 除 MF 外没有发现注视对外周生理反应的显著影响。研究结果也部分验证了 H2, 即在语音会话中积极情绪会使用户的外周生理反应增强, 没有发现情绪对行为类人度、代理专注度、代理好感度和代理接受度的感知评价的显著影响。研究结果部分验证了 H3, 即注视和情绪共同影响代理好感度和代理接受度, 人们可能更愿意在积极情绪下接受与用户相互注视的代理作为虚拟社交伙伴。

本文具有重要的理论贡献。首先, 本文研究表明积极情绪会使用户的交感神经系统活动加强, 副交感神经系统活动减弱, 体现在面部颧肌的放电增强、心率变快、心率变异性升高和皮肤电反应增强。注视和情绪共同影响用户面部肌电反应和心电反应。外周生理数据可以较为客观地反映用户的生理神经活动, 其为更深入理解用户主观评价的潜在神经活动机制提供了理论依据。其次, 代理注视会使行为类人度、代理专注度和代理好感度的感知评价更高, 进而影响用户对代理的接受度, 原因可能是用户对代理注视行为的主观体验和期望是一致的。此外, 代理好感度与面部肌电反应之间存在相关关系, 表明面部肌电反应可以在一定程度上反映用户对代理的好感度, 面部肌电、心电和皮肤电反应的测量指标之间存在相关性, 都可以反映用户情绪自主神经反应。本文结论支持已有人机交互相关研究关于注视的研究结论, 即有注视的机器人的感知好感度评价更高^[8]。

本文对具身代理的注视和会话设计具有实际意义。首先, 研究发现代理有注视比无注视引发更高的行为类人度和代理专注度评价, 使用户感觉到自身在交互过程中被代理关注和回应, 因而更加喜欢代理注视用户。在语音会话中加入代理注视有利于人们准确感知到代理表达的情绪, 从而提高用户接受具身代理作为虚拟社交伙伴的意愿。其次, 本文表明, 相比于消极情绪, 积极情绪下用户的神经生理反应明显增强。因此, 针对不同情绪的用户设计符合会话情绪基调且具有移情作用的语音脚本对具身代理语音设计具有重要意义, 例如, 针对积极情绪状态的用户设计符合用户积极情绪状态的会话脚本, 可以提升用户对代理移情能力的感知, 进而提高用户对代理好感度和接受度的主观感知, 而针对消极情绪状态的用户, 通过会话脚本表现代理移情能力的作用可能很有限。

本文也存在一定的局限性。相关分析发现代理好感度与面部肌电反应之间存在相关关系, 然而未发现其他主观评价变量与外周生理测量指标之间的显著相关关系, 可能是由于主观评价数据与外周生理数据的采集时间不同, 需要后续开展更多实验研究探究潜在原因。本文表明四个主观评价变量之间存在显著相关关系, sRAM 模型说明代理的行为类人程度、代理专注度和代理好感度共同影响代理接受度, 然而缺乏对主观变量之间关系的深入探讨, 后续研究可以通过构建一个框架模型, 进一步阐述和验证具身代理的行为类人程度、代理专注度、代理好感度和代理接受度之间的潜在关系。

参 考 文 献

- [1] Fitrianie S, Bruijnes M, Richards D, et al. What are we measuring anyway? : A literature survey of questionnaires used in studies reported in the intelligent virtual agent conferences[C]//Pelachaud C, Martin J-C. Proceedings of the 19th ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents. New York: Association for Computing Machinery, 2019: 159-161.
- [2] Bickmore T W, Picard R W. Establishing and maintaining long-term human-computer relationships[J]. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 2005, 12 (2): 293-327.
- [3] Sträfling N, Fleischer I, Polzer C, et al. Teaching learning strategies with a pedagogical agent: the effects of a virtual tutor and its appearance on learning and motivation[J]. Journal of Media Psychology Theories Methods & Applications, 2010,

- 22 (2): 73-83.
- [4] Qiu L Y, Benbasat I. A study of demographic embodiments of product recommendation agents in electronic commerce[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2010, 68 (10): 669-688.
- [5] Fitzpatrick K K, Darcy A, Vierhile M. Delivering cognitive behavior therapy to young adults with symptoms of depression and anxiety using a fully automated conversational agent (Woebot): a randomized controlled trial[J]. *JMIR Mental Health*, 2017, 4 (2): e19.
- [6] DeVault D, Artstein R, Benn G, et al. SimSensei kiosk: a virtual human interviewer for healthcare decision support[C]//Bazzan A, Huhns M. *AAMAS '14: Proceedings of the 2014 international conference on autonomous agents and multi-agent systems*. Richland: International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, 2014: 1061-1068.
- [7] Ferstl Y, Thomas S, Guiard C, et al. Human or robot? Investigating voice, appearance and gesture motion realism of conversational social agents[C]//*Proceedings of the 21st ACM international conference on intelligent virtual agents*. New York: Association for Computing Machinery, 2021: 76-83.
- [8] Diehl C, Schiffhauer B, Eyssel F, et al. Get one or create one: the impact of graded involvement in a selection procedure for a virtual agent on satisfaction and suitability ratings[M]//Beskow J, Peters C, Castellano G, et al. *Lecture Notes in Computer Science*. Cham: Springer International Publishing, 2017: 109-118.
- [9] Burleson W, Picard R W. Affective agents: Sustaining motivation to learn through failure and a state of stuck[R]. Maceio: The 7th Conference on Intelligent Tutoring Systems: Workshop on Social and Emotional Intelligence in Learning Environments, 2004.
- [10] Heerink M, Kröse B, Evers V, et al. Assessing acceptance of assistive social agent technology by older adults: the Almere model[J]. *International Journal of Social Robotics*, 2010, 2 (4): 361-375.
- [11] van Pinxteren M M E, Pluymaekers M, Lemmink J G A M. Human-like communication in conversational agents: a literature review and research agenda[J]. *Journal of Service Management*, 2020, 31 (2): 203-225.
- [12] Rapp A, Curti L, Boldi A. The human side of human-chatbot interaction: a systematic literature review of ten years of research on text-based chatbots[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2021, 151: 102630.
- [13] Roesler E, Manzey D, Onnasch L. A meta-analysis on the effectiveness of anthropomorphism in human-robot interaction[J]. *Science Robotics*, 2021, 6 (58): eabj5425.
- [14] Lombardi M, Maiettini E, de Tommaso D, et al. Toward an attentive robotic architecture: learning-based mutual gaze estimation in human-robot interaction[J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2022, 9: 770165.
- [15] Li M M, Guo F, Wang X S, et al. Effects of robot gaze and voice human-likeness on users' subjective perception, visual attention, and cerebral activity in voice conversations[J]. *Computers in Human Behavior*, 2023, 141: 107645.
- [16] Beinema T, op den Akker H, van Velsen L, et al. Tailoring coaching strategies to users' motivation in a multi-agent health coaching application[J]. *Computers in Human Behavior*, 2021, 121: 106787.
- [17] Belkaid M, Kompatsiari K, de Tommaso D, et al. Mutual gaze with a robot affects human neural activity and delays decision-making processes[J]. *Science Robotics*, 2021, 6 (58): eabc5044.
- [18] Kelley M S, Noah J A, Zhang X, et al. Comparison of human social brain activity during eye-contact with another human and a humanoid robot[J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2021, 7: 599581.
- [19] Kompatsiari K, Bossi F, Wykowska A. Eye contact during joint attention with a humanoid robot modulates oscillatory brain activity[J]. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 2021, 16 (4): 383-392.
- [20] Kuang B B, Peng S L, Wu Y H, et al. The neural mechanisms of group membership effect on emotional mimicry: a multimodal study combining electromyography and electroencephalography[J]. *Brain Sciences*, 2023, 14 (1): 25.
- [21] Pham M, Do H M, Su Z D, et al. Negative emotion management using a smart shirt and a robot assistant[J]. *IEEE Robotics and Automation Letters*, 2021, 6 (2): 4040-4047.
- [22] Teubner T, Adam M, Riordan R. The impact of computerized agents on immediate emotions, overall arousal and bidding behavior in electronic auctions[J]. *Journal of the Association for Information Systems*, 2015, 16 (10): 838-879.

- [23] Stets J E, Turner J H. The sociology of emotions[M]//Lewis M, Haviland-Jones J, Barrett L F. Handbook of Emotions. New York: The Guilford Press, 2008: 32-46.
- [24] Kiilavuori H, Sariola V, Peltola M J, et al. Making eye contact with a robot: psychophysiological responses to eye contact with a human and with a humanoid robot[J]. Biological Psychology, 2021, 158: 107989.
- [25] Kondo C, Sakuma H, Hijikata Y. A study on agent expression and user gaze behavior in product endorsement videos[C]//2022 IEEE/WIC/ACM International Joint Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT). Niagara Falls, ON, Canada. IEEE, 2022: 658-665.
- [26] Elshan E, Zierau N, Engel C, et al. Understanding the design elements affecting user acceptance of intelligent agents: past, present and future[J]. Information Systems Frontiers, 2022, 24 (3): 699-730.
- [27] Ishii R, Nakano Y I, Nishida T. Gaze awareness in conversational agents: estimating a user's conversational engagement from eye gaze[J]. ACM Transactions on Interactive Intelligent Systems, 2013, 3 (2): 1-25.
- [28] Khoshnoud S, Igarzábal F A, Wittmann M. Peripheral-physiological and neural correlates of the flow experience while playing video games: a comprehensive review[J]. PeerJ, 2020, 8: e10520.
- [29] Schilbach L. Eye to eye, face to face and brain to brain: novel approaches to study the behavioral dynamics and neural mechanisms of social interactions[J]. Current Opinion in Behavioral Sciences, 2015, 3: 130-135.
- [30] Schilbach L, Wohlschlaeger A M, Kraemer N C, et al. Being with virtual others: neural correlates of social interaction[J]. Neuropsychologia, 2006, 44 (5): 718-730.
- [31] Kuang B B, Li X T, Li X T, et al. The effect of eye gaze direction on emotional mimicry: a multimodal study with electromyography and electroencephalography[J]. NeuroImage, 2021, 226: 117604.
- [32] Bartneck C, Kulić D, Croft E, et al. Measurement instruments for the anthropomorphism, animacy, likeability, perceived intelligence, and perceived safety of robots[J]. International Journal of Social Robotics, 2009, 1 (1): 71-81.
- [33] Pickard M D, Burgoon J K, Derrick D C. Toward an objective linguistic-based measure of perceived embodied conversational agent power and likeability[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2014, 30(6): 495-516.
- [34] Creed C, Beale R, Cowan B. The impact of an embodied agent's emotional expressions over multiple interactions[J]. Interacting with Computers, 2015, 27 (2): 172-188.
- [35] Liew T W, Zin N A M, Sahari N, et al. The effects of a pedagogical agent's smiling expression on the learner's emotions and motivation in a virtual learning environment[J]. The International Review of Research in Open and Distributed Learning, 2016, 17 (5): 248-266.
- [36] Moussawi S, Benbunan-Fich R. The effect of voice and humour on users' perceptions of personal intelligent agents[J]. Behaviour & Information Technology, 2021, 40 (15): 1603-1626.
- [37] Myrtek M. Heart and Emotion: Ambulatory Monitoring Studies in Everyday Life[M]. Cambridge: Hogrefe & Huber, 2004.
- [38] Tan J W, Walter S, Scheck A, et al. Facial electromyography (fEMG) activities in response to affective visual stimulation[C]//2011 IEEE Workshop on Affective Computational Intelligence (WACI). Paris: IEEE, 2011: 1-5.
- [39] Goshvarpour A, Abbasi A, Goshvarpour A. An accurate emotion recognition system using ECG and GSR signals and matching pursuit method[J]. Biomedical Journal, 2017, 40 (6): 355-368.
- [40] Randhavane T, Bera A, Kapsaskis K, et al. EVA: generating emotional behavior of virtual agents using expressive features of gait and gaze[C]//Neyret S, Kokkinara E. ACM Symposium on Applied Perception 2019. New York: Association for Computing Machinery, 2019: 1-10.
- [41] Fitrianie S, Bruijnes M, Li F X, et al. The artificial-social-agent questionnaire: establishing the long and short questionnaire versions[C]//Martinho C, Dias J. Proceedings of the 22nd ACM International Conference on Intelligent Virtual Agents. New York: Association for Computing Machinery, 2022: 1-8.
- [42] ter Stal S, Tabak M, op den Akker H, et al. Who do you prefer? The effect of age, gender and role on users' first impressions of embodied conversational agents in eHealth[J]. International Journal of Human-Computer Interaction, 2020, 36 (9): 881-892.
- [43] Suzuki Y, Galli L, Ikeda A, et al. Measuring empathy for human and robot hand pain using electroencephalography[J].

- Scientific Reports, 2015, 5: 15924.
- [44] Xi X G, Zhang Y, Hua X, et al. Facial expression distribution prediction based on surface electromyography[J]. Expert Systems with Applications, 2020, 161: 113683.
- [45] Tsai J L, Pole N, Levenson R W, et al. The effects of depression on the emotional responses of Spanish-speaking Latinas[J]. Cultural Diversity & Ethnic Minority Psychology, 2003, 9 (1): 49-63.
- [46] Tyagi O, Mehta R K. Mind over body: a neuroergonomic approach to assessing motor performance under stress in older adults[J]. Applied Ergonomics, 2022, 101: 103691.
- [47] Mithbavkar S A, Shah M S. Analysis of EMG based emotion recognition for multiple people and emotions[C]//2021 IEEE 3rd Eurasia Conference on Biomedical Engineering, Healthcare and Sustainability (ECBIOS). Tainan, Taiwan, China. IEEE, 2021: 1-4.
- [48] Fragoanagos N, Taylor J G. Emotion recognition in human-computer interaction[J]. Neural Networks, 2005, 18 (4): 389-405.
- [49] Zheng B S, Murugappan M, Yaacob S, et al. Human emotional stress analysis through time domain electromyogram features[C]//2013 IEEE Symposium on Industrial Electronics & Applications. Kuching, Malaysia. IEEE, 2013: 172-177.
- [50] Sander D, Grandjean D, Kaiser S, et al. Interaction effects of perceived gaze direction and dynamic facial expression: evidence for appraisal theories of emotion[J]. European Journal of Cognitive Psychology, 2007, 19 (3): 470-480.
- [51] Vertegaal R, Slagter R, van der Veer G, et al. Eye gaze patterns in conversations: there is more to conversational agents than meets the eyes[C]//Jones M, Palanque P. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. New York: Association for Computing Machinery, 2001: 301-308.
- [52] Hatfield E, Cacioppo J T, Rapson R L. Emotional contagion[J]. Current directions in psychological science, 1993, 2 (3): 96-100.
- [53] Kreibitz S D. Autonomic nervous system activity in emotion: a review[J]. Biological Psychology, 2010, 84 (3): 394-421.
- [54] Nakahara H, Furuya S, Obata S, et al. Emotion-related changes in heart rate and its variability during performance and perception of music[J]. Annals of the New York Academy of Sciences, 2009, 1169: 359-362.
- [55] Brosschot J F, Thayer J F. Heart rate response is longer after negative emotions than after positive emotions[J]. International Journal of Psychophysiology, 2003, 50 (3): 181-187.
- [56] Agelink M W, Boz C, Ullrich H, et al. Relationship between major depression and heart rate variability. Clinical consequences and implications for antidepressive treatment[J]. Psychiatry Research, 2002, 113 (1/2): 139-149.
- [57] Khalfa S, Roy M, Rainville P, et al. Role of tempo entrainment in psychophysiological differentiation of happy and sad music? [J]. International Journal of Psychophysiology, 2008, 68 (1): 17-26.
- [58] Kühnlenz B, Wang Z Q, Kühnlenz K. Impact of continuous eye contact of a humanoid robot on user experience and interactions with professional user background[C]//2017 26th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN). Lisbon, Portugal. IEEE, 2017: 1037-1042.
- [59] Pfeiffer U J, Vogeley K, Schilbach L. From gaze cueing to dual eye-tracking: novel approaches to investigate the neural correlates of gaze in social interaction[J]. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 2013, 37 (10): 2516-2528.
- [60] Brave S, Nass C, Hutchinson K. Computers that care: investigating the effects of orientation of emotion exhibited by an embodied computer agent[J]. International Journal of Human-Computer Studies, 2005, 62 (2): 161-178.
- [61] Adams Jr R B, Kleck R E. Effects of direct and averted gaze on the perception of facially communicated emotion[J]. Emotion, 2005, 5 (1): 3-11.
- [62] Mason M F, Tatkov E P, MacRae C N. The look of love: gaze shifts and person perception[J]. Psychological Science, 2005, 16 (3): 236-239.
- [63] Strick M, Holland R W, van Knippenberg A. Seductive eyes: attractiveness and direct gaze increase desire for associated objects[J]. Cognition, 2008, 106 (3): 1487-1496.
- [64] Wirtz J, Patterson P G, Kunz W H, et al. Brave new world: service robots in the frontline[J]. Journal of Service Management, 2018, 29 (5): 907-931.

- [65] Golland Y, Hakim A, Aloni T, et al. Affect dynamics of facial EMG during continuous emotional experiences[J]. *Biological Psychology*, 2018, 139: 47-58.
- [66] Lim S, Reeves B. Computer agents versus avatars: responses to interactive game characters controlled by a computer or other player[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2010, 68 (1/2): 57-68.

Effects of Embodied Agent Gaze and Conversational Emotion on Users' Subjective Perception and Peripheral Physiological Response

LI Fengxiang¹, GUO Fu¹, REN Zenggen¹, LI Mingming², TIAN Xiaohui¹

(1. School of Business Administration, Northeastern University, Shenyang 110167, China;

2. School of Management Science and Engineering, Anhui University of Technology, Maanshan 243032, China)

Abstract Gaze behaviour and conversational expression of embodied agents are important anthropomorphic features in human-agent interaction, which affect users' willingness to accept embodied agent as a virtual social companion. There has little evidence of interaction effects of gaze and conversational emotion on users' perception, particularly on users' neurophysiological activity. Therefore, a two-factor mixed design experiment of voice conversations with diverse agent gaze (gaze versus no gaze) and emotion (positive emotion versus negative emotion) using subjective reporting and peripheral physiological measurement was conducted. The results showed that the agent with gaze evoked higher perception of human-like behaviour, agent's attentiveness, agent's likeability, and user acceptance of the agent. Moreover, positive conversational emotion evoked increased peripheral physiological response. The results suggest that agent gaze and conversational emotion might jointly influence agent's likeability, user acceptance of the agent, and users' peripheral physiological response, and users might be more willing to accept embodied agent who gazes at them as a virtual social companion in positive conversational emotion.

Keywords Embodied agent, Gaze, Conversational emotion, User acceptance of the agent, Virtual social companion

作者简介

李峰香 (1993—), 女, 东北大学工商管理学院, 博士研究生, 研究方向为人因工程、人机 (具身代理) 交互、用户体验等。Email: fengxianglire@126.com。

郭伏 (1964—), 女, 东北大学工商管理学院, 教授, 研究方向为人因工程、人机交互、用户体验、感性工学等。Email: fguo@mail.neu.edu.cn。

任增根 (1995—), 男, 东北大学工商管理学院, 博士研究生, 研究方向为人因工程、人机交互、感性工学和人机协作等。Email: renzenggen@163.com。

李明明 (1992—), 男, 安徽工业大学管理科学与工程学院, 讲师, 研究方向为人因工程、人机 (器人) 交互、感性工学和人机协作等。Email: mingminglixzy@gmail.com。

田晓慧 (1996—), 女, 东北大学工商管理学院, 博士研究生, 研究方向为人因工程、人机交互、用户体验等。Email: xiao_huitian@163.com。