基于多模态视角的适老化智能药盒设计

doi:10.20269/j.cnki.1674-7100.2026.0005

陈婉婷　唐紫茸　何　霞

浙江理工大学
艺术与设计学院
浙江　杭州　311100

摘　要：针对老年人，尤其是空巢老年人在用药过程中面临的感官退化、记忆力减退和认知障碍等问题，通过用户旅程图分析与扎根理论研究，识别并提炼出老年人用药过程中的关键需求，形成“功能－认知－情感”三维需求模型，同时构建出四层系统架构，设计一款基于多模态交互技术的智能药盒。通过多模态硬件感知和冗余输出机制，有效降低了老年用户的操作错误率，提升了系统的适老性。同时，家庭协同模块的情感化交互设计增强了用户的使用意愿，从而形成了服务闭环。多模态交互能有效改善老年人的用药管理问题，为适老化产品设计提供了兼顾技术实用性与人文关怀的参考方案。

关键词：多模态交互；适老化设计；智能药盒；用药依从性；生成式人工智能

中图分类号：TB482.2；TH788　　**文献标志码：**A

文章编号：1674-7100(2026)03-0055-06

引文格式：陈婉婷，唐紫茸，何　霞. 基于多模态视角的适老化智能药盒设计[J]. 包装学报，2026，18(3)：55-60.

1　研究背景

随着全球老龄化问题的加重，中国也面临人口结构的显著转型。第七次人口普查数据显示，我国 60 岁及以上人口占比已达 18.70%，其中 65 岁及以上人口比例较第六次人口普查增长 4.63 个百分点[1]，同时高龄化与空巢化趋势日益凸显[2]。《“十四五”健康老龄化规划》相关数据表明，我国 78% 以上的老年人至少患有一种慢性病[3]，且人均带病生存期长达 9.1 年[4]，老年用药需求呈现显著上升趋势。但由于感官功能退化、记忆力减退、认知功能下降[5]等问题，老年人在用药时面临诸多困难，特别在空巢家庭情境中，老年人更需要一种能够克服以上问题的用药指导。

老年用药安全目前已形成了跨学科的研究体系，涵盖医学、信息技术及心理学等众多领域。理论构建方面，“计划行为理论”通过态度、主观规范和知觉行为控制三个维度，阐释用药依从性的形成机制，同时为相关干预策略提供理论依据[6]。技术创新方面，智能用药系统应用逐渐多元化。如 D. C. Mohr 团队开发的数字健康干预系统，通过移动终端实现个性化用药提醒、行为跟踪与远程医疗支持，有效提升慢性病患者的用药管理能力[7]。V. Bindu Sree 等[8]设计的可编程智能药盒系统支持定时提醒、剂量控制与异常报警等功能，从硬件层面提升用药准确性。

国内的研究则更多聚焦于应用层面。例如，杨继森等[9]基于云端同步的药品信息管理系统，实现用

收稿日期：2025-12-18
基金项目：浙江省自然科学基金资助项目（LGG22E030005）；浙江理工大学龙港研究院应用基础研究基金资助项目（LGYJY2023012）
作者简介：陈婉婷，女，硕士生，主要研究方向为产品整合创新设计，E-mail：1783844514@qq.com
通信作者：何　霞，女，副教授，博士，主要从事材料与结构设计研究，E-mail：hxzstu@163.com

药数据的远程共享与监护人协同监督，增强了家庭支持能力。李正军等 [10] 通过改进失效模式与影响分析（FMEA）方法，系统性识别老年用户在用药过程中的潜在风险点，并据此优化智能药盒的交互流程与容错机制。陈子禾等 [11] 则基于服务设计理念，重构智能药盒的系统架构，通过整合用户、设备与服务流程，提升整体用药体验。

然而，当前老年用药指导系统在信息感知和认知匹配层面仍存在显著局限。传统单模态交互系统难以应对老年人视听功能退化的复合障碍，而多模态技术则能为此开辟新路径。多模态交互技术是指通过语音、手势、触屏等多种方式与设备进行交流的技术，该技术起源于 20 世纪 90 年代将语音和手势结合的研究 [12]。2015 年，图灵机器人推出 Turing OS 系统，首次定义“多模态交互”技术范式，突破了传统计算机的键盘输入与智能手机的点触式交互模式 [13]。随之，多模态人机交互的学术成果稳步增长，在老年人的健康设计领域也实现许多创新成果。例如，Tanaka H. 等 [14] 基于语音特征与日常行为数据的多模态融合分析法，构建早期认知障碍识别模型，实现在无侵入条件下对阿尔茨海默病的早期筛查。S. Kuoppamäki 等 [15] 开发了适老化厨房对话系统，通过融合语音对话、视觉界面提示与情境感知技术，在烹饪过程中为老年用户提供实时的步骤引导、风险提示及营养建议。H. Abodollahi 等 [16] 开发情感陪伴机器人，通过整合语音识别、面部表情分析与行为感知等多模态信息，对老年用户的情绪状态进行实时识别，并基于情感反馈机制提供对话互动与行为干预，在一定程度上缓解孤独感并改善抑郁症状。

基于此，本研究提出基于多模态视角的适老化智能药盒设计，旨在帮助老年人更直观地理解医嘱和用药信息 [17]，避免因感官障碍而导致的用药信息遗漏或误解。同时，通过生成式人工智能的数字人技术能够结合亲属面容及语音语调等信息，生成有情感联系的用药指导，帮助老年人更容易甚至主动地理解用药信息，提高用药依从性 [18-19]。

2 用户需求与设计导向

为明确适老化智能药盒设计的功能目标，本研究从用户实际使用场景出发，通过用户旅程图方法分析出老年群体在用药过程中的主要痛点，进而以多模态交互为导向，运用扎根理论方法，系统提炼出用户的具体需求以及设计对应的功能目标。

2.1 用药痛点识别

用户旅程图是一款用户体验研究的常见方法，能够呈现用户使用产品过程中的行为路径、情绪波动和接触点。本研究对现有智能药盒使用者进行用户访谈后，以 74 岁独居老人王奶奶为典型用户，模拟其在药品准备、用药提醒以及用药执行 3 个阶段的使用场景（见图 1），分析交互痛点。

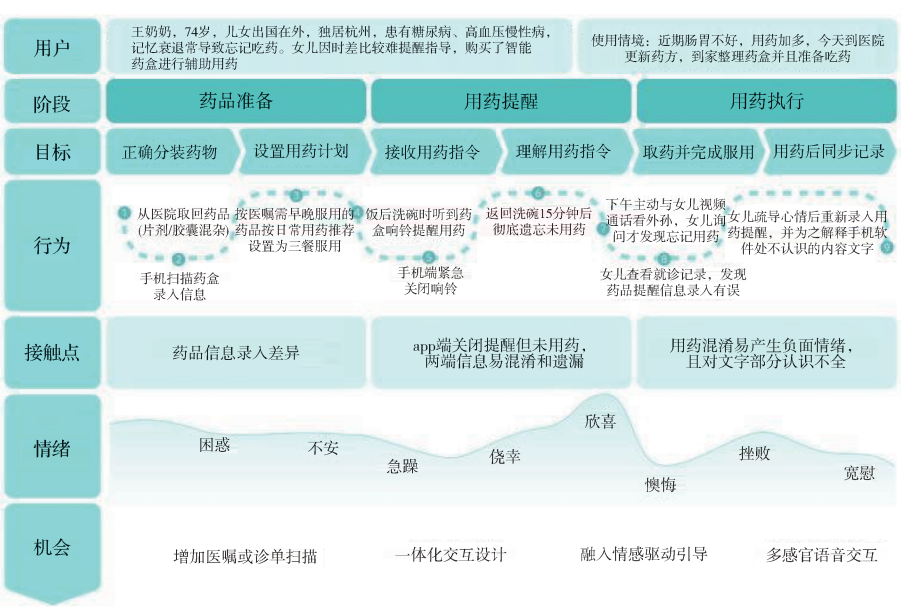

图 1 用户旅程图

Fig. 1 User journey mapping

由图 1 可知，在药品准备阶段，混杂的片剂与胶囊分装容易导致药品误置，且手机扫描录入信息时系统未识别医嘱差异，误将早晚服用药品设置为三餐用药。在用药提醒阶段，响铃在厨房嘈杂环境中被忽略，且手机端紧急关闭提醒功能与药盒状态未同步，导致用药行为未被记录。在用药执行阶段，系统界面信息杂乱且引导缺乏适老化，同时信息反馈不到位，也缺乏情感支持。以上痛点皆影响老年用户的用药体验，并引发焦虑、挫败等负面情绪。上述问题表明老年用户在感知、操作和反馈层面存在明显障碍，因此本研究结合“多模态技术”提供相应的解决路径。

2.2 基于扎根理论的多模态交互需求提炼

扎根理论是一种适用于探索用户潜在需求，为设计提供理论依据的调研方法，它强调从原始数据中逐步提炼概念与范畴。本研究在用户旅程分析中识别出“多模态交互”的关键点后，进一步基于扎根理论，对 35 位老年用户（有效样本 33 人）的深度访谈数据进行系统分析，以提炼适老化智能药盒的多模态交互需求。

开放式编码阶段，本研究采用 NVivo12 软件逐行分析访谈数据。初次编码后，通过合并重复项、剔除无关项及分类整理等节点梳理方法，最终提炼出“信息识别需求”“操作便利性需求”“提醒感知需求”“认知辅助需求”及“情感互动需求”5 个初始范畴，同时对应整理出 13 个初始概念，具体结果见表 1。

表 1 开放式编码结果

Table 1 Results of open coding

初始范畴	初始概念（引用频次）
信息识别需求	医嘱文字模糊识别困难（28）、药品外观特征辨识不足（23）、用药时间易混淆（31）
操作便利性需求	机械按键操作失误（25）、程序响应延迟（19）、APP 操作复杂易困惑（27）
提醒感知需求	单通道提醒失效（29）、环境干扰削弱提醒效果（31）、反馈信号缺乏差异性（22）
认知辅助需求	用药逻辑理解障碍（26）、药品禁忌警示缺失（17）、剂量换算记忆困难（30）
情感互动需求	数字化操作焦虑（24）、用药成功缺乏正向激励 (29）、紧急状况无人响应（33）

在此基础上，本研究进入主轴式编码阶段，采用扎根理论中的“因果条件－现象－脉络－中介条件－行动策略－结果”编码范式，对数据进行深入分析，研究识别出“功能补偿”“认知支持”和“情感驱动”3 个主范畴及其对应范畴关系，见表 2。

表 2 主轴式编码结果

Table 2 Results of spindle coding

主范畴	对应范畴关系	典型语句示例
功能补偿	由信息识别需求与操作便利性需求构成，体现老年人对基础交互能力的代偿需求	“有时候机器人说一遍，我也没听清说的什么，不好用”（P07）
认知支持	包含提醒感知需求与认知辅助需求，反映用户对用药决策支持系统的深层次依赖	“降压药和感冒药我不能一起吃，这个提前告诉我确实挺好”（P19）
情感驱动	源自情感互动需求，揭示老年群体在技术使用中的情感缺失与陪伴诉求	“要是每次吃药能看看小孩动态和反应，确实会有意思很多”（P29）

表 2 中的分析结果验证了用户旅程图中识别的关键痛点，也进一步揭示了老年群体在感官退化、认知障碍及情感缺失三重挑战下的深层需求。因此，本研究提出“多模态补偿性交互需求”作为核心范畴，相应构建了“功能－认知－情感”三维需求模型（见图 2）。在功能维度上，采用多模态冗余设计（如视听触融合）突破老年人感官退化的限制；在认知维度上，通过结构化信息展示降低理解难度；在情感驱动维度上，借助数字人技术建立情感连接。该模型强调功能、认知和情感层面的有机循环，三者协同构成老年人用药行为的优化路径。功能补偿保障认知支持的有效性，清晰的认知交互增强信任感，而情感连接则提升使用意愿，反向推动功能优化，为多模态交互设计提供了明确的目标原则与功能导向。

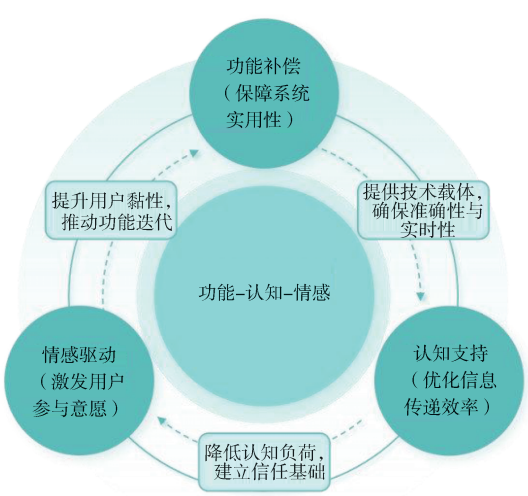

图 2 主范畴间的三维需求模型

Fig. 2 Three-dimensional demand model between the main categories

3 设计策略

3.1 多模态适老化设计思路

基于老年群体在功能补偿、认知支持与情感驱动方面的需求，本研究构建以“三维需求模型”为核心的适老化智能药盒设计框架（见图 3），形成“感知－决策－动机”三层协同机制，通过人性化技术设计，推动老年人从“被动用药”到“主动参与”的转变。

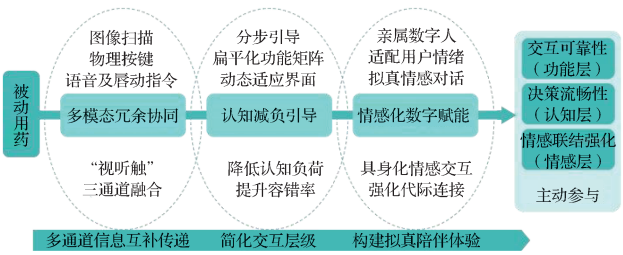

图 3 多模态适老化设计策略框架

Fig. 3 A framework for multimodal elderly-friendly design strategies

在信息感知层面，采用“多模态冗余协同”机制，结合图像扫描、物理按键、语音及唇动指令三通道互补设计，通过“视听触”融合输出，例如 LED 光序、唇动辅助的语音播报、震动反馈等，利用跨模态的信息校验与场景自适应的调度（如环境噪音下的触觉优先响应），依托麦格克效应 [20] 实现信息的多通道式互补传递。

在认知交互层面，围绕“认知减负引导”机制展开设计，通过分步引导及扁平化功能矩阵，减少选项数量的同时降低操作复杂度。另外，使用动态适应界面，对高频误触位置进行防护，对操作熟练处进行优化等，形成渐进式决策路径，降低认知负荷并提升操作容错率 [21]。

在情感维度层面，围绕“情感化数字赋能”机制，运用人脸生成、语音语调合成与微表情建模等技术构建亲属数字人系统。通过数字孪生技术 [22] 适配用户情绪，实现个性化的用药提醒与情绪响应，完成拟真情感对话，从而实现情感化的人机交互体验，具身化情感交互强化代际连接，从行为动机层面提升用药依从性。

3.2 多模态的适老化智能药盒系统架构

基于上述三维需求及多模态设计策略的分析，本研究构建了一款分层式的智能药盒系统架构（见图 4）。整体架构通过硬件感知、数据处理、智能决策与多模态交互四层协同，形成“用户行为－系统优化－家庭协同”的服务闭环，提升用药管理的准确性与情感体验。

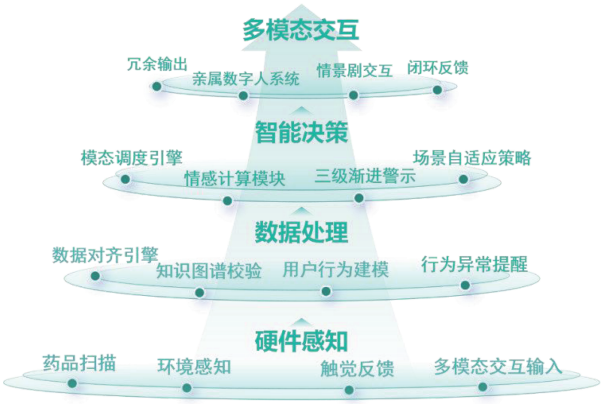

图 4 多模态适老化智能药盒系统架构

Fig. 4 Multimodal elderly-friendly intelligent medicine box system architecture

硬件感知层配有高精度摄像头、噪声传感器、震动反馈等设备，能够实时捕捉环境状态及用户行为，为系统提供数据输入。数据处理层通过同步时序对齐多源信号，结合医疗知识图谱校验用药规则，并构建个性化用药模型，确保用药提醒和管理都符合个体需求。智能决策层配有模态调度引擎，能够根据环境噪声、光照强度和用户响应历史动态调整输出模式。例如，在厨房场景中，系统优先使用高频震动和红色灯光提醒，而在卧室夜间模式下，切换为呼吸灯和温和的语音播报。此外，智能决策层还配有情感计算模块，可分析用户的情绪变化实时调整交互方式，缓解老年用户的焦虑或压力。多模态交互层则通过多通道输出与双向反馈机制，可将决策指令转化为用户能够感知的交互行为，并将用药记录同步至监护人端，使家庭成员可以实时关注老年用户的用药情况。

4 设计实践

基于前述用户研究中提炼的“功能－认知－情感”三维需求模型与多模态设计策略，研究提出一款适老化智能药盒设计方案。该方案以多模态协同与情感化交互为核心，从交互界面与硬件结构两方面共同响应老年用户在信息识别、操作便利性、环境适应性及情感陪伴等方面的核心诉求。

4.1 药盒交互界面设计

如图 5 所示，交互界面以亲属数字人为核心载体，通过“视觉－听觉－触觉”的多通道补偿机制降低操作负荷，同时结合情感化数字孪生技术激发用户的

主动用药意愿，形成“感知增强－认知简化－情感共鸣”的设计闭环。

在用药提醒场景中，界面 AI 数字人通过唇动的视觉信息辅助老年人弥补听觉衰退带来的不便，增强语音指令的可读性。同时叠加适老化的动态字幕，高亮显示关键词 [23]，形成视觉加听觉的双通道信息冗余。在用药管理模块中，界面采用“核心层－扩展层”的双层架构设计。日常主屏幕主要展示核心层内容，仅保留 AI 数字人形象及药仓的可视化状态框，提供当日用药的实时语音提醒与互动。扩展层则通过渐进式侧滑菜单调取，设有用药记录、药品说明及其他与用药相关的次要功能，避免用户日常使用时信息过载。

在情感驱动方面，亲友可上传影像或视频生成个性化数字人并集成“数字记忆库”，在服药后触发微笑表情或鼓励语音，或在非用药时段触发陪伴性对话，增强用户的情感连接。出现用药遗漏时，系统除通过硬件向老年用户发出提醒外，还会同步向家属端发送提醒。



图 5　药盒交互界面

Fig. 5　The interactive interface of the medicine box

4.2　药盒硬件结构设计

药盒硬件系统由控制交互层与储药执行层组成（见图 6），主要围绕环境感知与多通道反馈展开，构建可靠且容错率高的物理交互系统，以实现功能补偿与提醒感知需求。控制交互层为一块符合人机倾斜角度的触控屏，触控时带有震动反馈，使用户可感知操作。触控屏上方配备有摄像模块，用于扫描药品二维码及医嘱单，确保用药提醒信息的准确性，同时还能识别用户的面部表情，辅助激发情感互动。触控屏左侧配有麦克风阵列，支持语音输入，并集成双声道扬声器，支持语音播放。此外，药盒还配备光照传感器和噪声检测模块，可根据环境的光线和噪音强度调整输出模式。例如，在亮光环境中，系统会自动增强 LED 灯亮度；在噪音环境中，震动和亮度的提醒强度会增强，确保用户在不同场景中能够接收到用药提醒。

储药执行层由 5 个独立小药仓组成，每个药仓与触控屏上的可视化状态框对应，用户可查看每个药仓内的药品及余量。用药提醒时，对应药仓会自动弹出，且药盒内置 LED 灯带传递用药状态，例如服药后灯光由白转绿并持续 5 s 渐隐。另外，小药仓药盖设有弹簧结构，可实现一键开盖，同时药盖内部设有取药结构，可结合药盖弹簧实现单手将药片从药板中取出并直接置入药仓，简化操作流程且避免药品污染。

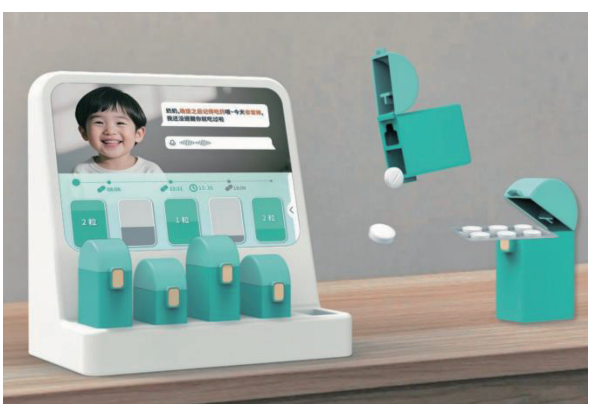

图 6　适老化智能药盒硬件图

Fig. 6　Hardware diagram of the elderly-friendly smart medicine box

该设计方案系统贯彻前期研究中确立的需求导向与策略框架，从软硬件两方面实现多模态协同与情感化交互，响应了老年用户在信息识别、操作便利性、提醒感知、认知辅助及情感互动 5 个方面的核心诉求，完成了从需求模型到功能实现的完整闭环。

5　结语

在全球老龄化进程加速与老年慢病管理需求日益迫切的背景下，本研究聚焦多模态交互技术，提出适老化智能药盒系统设计。通过结合语音、视觉、触觉等多模态进行设计，采用简洁的界面和渐进式引导策略，降低操作复杂度，同时 AI 驱动的亲属数字人技术推动老年用户从“被动用药”向“主动参与”的行为转变。但研究仍存在一定局限，首先用户需求样本量还需扩大，以覆盖更多老年群体，数字人技术

的隐私和伦理风险尚未充分探讨，同时硬件成本与适配性仍需优化。在未来研究中，可探索多模态交互与可穿戴设备、物联网居家等方面的融合，构建全域健康管理生态并引入更多设计方法，增强产品的包容性与可持续性。

参考文献：

[1] 许 珂，贺晓迎 . 新时代中国人口结构的发展态势研究：基于对“第七次全国人口普查公报”的分析 [J]. 成都行政学院学报，2022(2)：33-46，117.

[2] 任泽平 . 中国老龄化报告 [J]. 发展研究，2023，40(2)：22-30.

[3] 佚 名 . 关于印发“十四五”健康老龄化规划的通知 [J]. 中华人民共和国国家卫生健康委员会公报，2022(2)：16-25.

[4] 杜 鹏，刘维林 . 中国老龄化社会 20 年：成就·挑战与展望 [M]. 北京：人民出版社，2021：163-184.

[5] 王英全，梁景宏，贾瑞霞，等 . 2020—2050 年中国阿尔茨海默病患病情况预测研究 [J]. 阿尔茨海默病及相关病，2019，2(1)：289-298.

[6] HILL R J，FISHBEIN M，AJZEN I. Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research[J]. Contemporary Sociology，1977，6(2)：244.

[7] MESHRAM V V，PATIL K R，MESHRAM V A，et al. SmartMedBox: A Smart Medicine Box for Visually Impaired People Using IoT and Computer Vision Techniques[J]. Revue D’ Intelligence Artificielle，2022，36(5)：681-688.

[8] BINDU SREE V，INDRANI K S，Mary Swarna Latha G. Smart Medicine Pill Box Reminder with Voice and Display for Emergency Patients[J]. Materials Today: Proceedings，2020，33：4876-4879.

[9] 杨继森，杨长才，赵立鑫 . 智能电子药盒研究与设计 [J]. 测控技术，2016，35(4)：67-71.

[10] 李正军，白 朔 . 基于改进 FMEA 的适老化智能药盒交互设计研究 [J]. 包装工程，2023，44(8)：225-233，252.

[11] 陈子禾，颜廷旻，戴子婧，等 . 基于服务设计理念的老年人智能药盒设计研究 [J]. 包装工程，2023，44(8)：216-224.

[12] PAVLOVIC V I，BERRY G A，HUANG T S. Integration of Audio/Visual Information for Use in Human-Computer Intelligent Interaction[C]//Proceedings of International Conference on Image Processing. Santa Barbara：IEEE，1997：121-124.

[13] 周思锦，陈棣成，涂 耿，等 . 基于个性化和记忆机制的多模态情感计算模型 [J]. 系统仿真学报，2022，34(4)：745-758.

[14] TANAKA H，ADACHI H，UKITA N，et al. Automatic Detection of very Early Stage of Dementia Through Multimodal Interaction with Computer Avatars[C]// Proceedings of the 18th ACM International Conference on Multimodal Interaction. Tokyo：ACM，2016：261-265.

[15] KUOPPAMÄKI S，JABERIBRAHEEM R，HELLSTRAND M，et al. Designing Multi-Modal Conversational Agents for the Kitchen with Older Adults: A Participatory Design Study[J]. International Journal of Social Robotics，2023，15(9/10)：1507-1523.

[16] ABDOLLAHI H，MAHOOR M H，ZANDIE R，et al. Artificial Emotional Intelligence in Socially Assistive Robots for Older Adults: A Pilot Study[J]. IEEE Transactions on Affective Computing，2023，14(3)：2020-2032.

[17] TYE-MURRAY N，SOMMERS M S，SPEHAR B. Audiovisual Integration and Lipreading Abilities of Older Adults with Normal and Impaired Hearing[J]. Ear & Hearing，2007，28(5)：656-668.

[18] 陈小鼎，盛常冲，匡纲要，等 . 唇读研究进展与展望 [J]. 自动化学报，2020，46(11)：2275-2301.

[19] de GEEST S，SABATÉ E. Adherence to Long-Term Therapies: Evidence for Action[J]. European Journal of Cardiovascular Nursing，2003，2(4)：323.

[20] STACEY J E，HOWARD C J，MITRA S，et al. Audio-Visual Integration in Noise: Influence of Auditory and Visual Stimulus Degradation on Eye Movements and Perception of the McGurk Effect[J]. Attention, Perception & Psychophysics，2020，82(7)：3544-3557.

[21] WANG J D，QIAN X Y，ZHANG M L，et al. Seeing What You Said: Talking Face Generation Guided by a Lip Reading Expert[C]//2023 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR). Vancouver：IEEE，2023：14653-14662.

[22] 徐祥伍，韩 笑 . AIGC+ 虚拟数字人：人工智能时代档案馆数字服务新展望 [J]. 档案，2023(10)：9-14.

[23] 李 昭，李梦瑶，王 惠，等 . 药品包装适老性设计评价体系研究 [J]. 包装学报，2024，16(6)：59-65.

（责任编辑：李玉华）

（下转第 104 页）