

基于 HAAT 的运动性失语症老人沟通辅具设计研究

蒋旒^{1,2}, 李然¹, 刘春尧¹

(1.西南交通大学, 成都 611756; 2.西南财经大学天府学院, 成都 610052)

摘要: **目的** 研究 HAAT 模型在设计中的应用, 提出相应设计策略与方法, 为运动性失语症老人沟通辅具设计提供理论指导和实践参考。**方法** 以运动性失语症老人为研究对象, 引入康复学 HAAT 模型的基础理论和概念框架, 从设计学角度出发, 对模型的四个核心要素进行范围收敛和定向表达, 围绕“运动性失语症老人”“沟通任务”“使用情境”三要素与“沟通辅具”之间的相互关系, 提出基于 HAAT 模型的沟通辅具设计策略。**结果** 运用设计策略进行设计实践, 产出一款老年沟通辅具 APP——“心语”, 满足了运动性失语症老人的沟通需求, 获得了良好的用户体验。**结论** HAAT 模型应用于运动性失语症老人沟通辅具设计, 具有较强的可操作性、有效性和适用性, 为我国沟通辅具设计的研究发展提供了新的方向。

关键词: 产品设计; 沟通辅具; HAAT 模型; 运动性失语症; 老年; 用户评估

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)04-0210-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.04.026

Design of Communication Aids for the Elderly with Broca's Aphasia Based on HAAT

JIANG Ni^{1,2}, LI Ran¹, LIU Chun-yao¹

(1.Southwest Jiaotong University, Chengdu 611756, China; 2.Tianfu College of SWUFE, Chengdu 610052, China)

ABSTRACT: This paper aims to study the application of HAAT model in the design, put forward the corresponding design strategies and methods, and provide theoretical guidance and practical reference for the design of communication aids for the elderly with Broca's aphasia. Taking the elderly with Broca's aphasia as the research object, the basic theory and conceptual framework of HAAT model were introduced, from the point of view of design, the scope convergence and directional expression of the four core elements of the model were carried out, focusing on the relationship between the three elements of "the elderly with Broca's aphasia" "communication task" "usage situation" and "communication aids", the design strategy of communication aids based on HAAT model was proposed. By using design strategies to design and practice, an APP for elderly communication aids "Xin Yu" was produced, which met the communication needs of the elderly with Broca's aphasia and obtained a good user experience. HAAT model is applied to the design of communication aids for the elderly with Broca's aphasia, which has strong operability, effectiveness and applicability, and provides a new direction for the research and development of communication aids design in China.

KEY WORDS: product design; communication aids; HAAT model; Broca's aphasia; elderly; user assessment

运动性失语症又称布洛卡失语症 (Broca's Aphasia, BA), 为脑卒中疾病常见后遗症之一, 临床特征以口语表达障碍为突出特点, 但听力、理解力不

受影响^[1]。据 NESS-China 调查显示, 我国老年人已成为脑卒中发病的主要人群^[2], 而患运动性失语症的老人无法与人正常交流, 严重影响其身心健康。面对

收稿日期: 2021-09-10

基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金 (19YJC760044); 四川省哲学社会科学重点研究基地现代设计与文化研究项目 (MD20C001); 西南交通大学研究生院校内实践基地项目

作者简介: 蒋旒 (1989—), 女, 四川人, 硕士, 西南财经大学天府学院助教, 主要研究方向为老龄化设计、辅具设计。

通信作者: 李然 (1983—), 男, 贵州人, 博士, 西南交通大学副教授, 主要研究方向为老龄化设计。

这一问题，借助沟通辅具，可有效改善患病老人的沟通能力，从而达到减轻家庭照护负担，增进家庭成员亲密关系的目的。中国已进入老龄化阶段，并逐渐向重度老龄化转变^[3]。这意味着，我国对老年沟通辅具的需求是巨大且急迫的，坚持和发展辅助器具的科研开发既是国家政策，更是市场需要的必然体现^[4]。

1 沟通辅具概述

沟通辅具是协助言语障碍者参与沟通互动，满足其表达思想、交换信息、康复训练、维护人际、保持尊严等需求的辅助器具。根据应用技术特征的不同，沟通辅具可分为低科技沟通辅具(沟通簿、沟通图卡、沟通板等)和具有打印或声音输出功能的高科技沟通辅具(计算机沟通系统、语音沟通仪、智能键盘沟通系统等)^[5]，常见的几类沟通辅具见图 1。低科技沟通辅具简单易制，成本低，但沟通内容受限；高科技沟通辅具个性化强、沟通内容丰富，但成本偏高。随着电子产品的普及化，高科技沟通辅具逐步向以计算机、平板电脑、智能手机为载体置入辅助沟通系统软件的形式转变，而非仅仅研发专门的、单一功能的沟通辅助仪器，导致成本大大降低，开始发挥其沟通辅助的价值和优势。

国内辅具研发由于缺乏对设计的重视与投入，造成产品品种较少、质量与档次不高的行业现状。沟通辅具作为其中一类，其产品研发所面临的困难则更为明显：首先，沟通辅具多由职业康复师、特殊教育者

牵头研发设计，注重功能实现，但在系统交互、界面、视觉设计方面难以带给用户良好的体验；其次，沟通辅具用户侧重面向自闭症、孤独症、脑瘫等特殊儿童，产品功能以语言学习和表达训练为主，界面风格普遍偏低幼化，并不适合老年人。要设计出适用于运动性失语症老人的沟通辅具产品，国内设计领域应当给予更多的关注与投入。因此，本文引入康复学中 HAAT 模型的基础理论和概念框架，并从设计学领域的角度，提出辅具设计的策略与方法，再以之为指导展开对运动性失语症老人沟通辅具产品的设计实践。

2 HAAT 模型理论发展与应用

人类活动辅助技术模型 (Human Activity Assistive Technology Model, 简称 HAAT 模型) 于 1995 年由 Cook 和 Hussey 提出^[6]，它是对 Bailey (1989 年) 描述的人因工程方法的一种改编形式，用于辅具的设计、开发、用户评估和效果评价，被视为是一种理论依据及实践操作指南。

HAAT 模型是一种辅助技术模型，其由人(功能障碍者)、活动、情境和辅助技术四个核心要素组成，即在特定的情境下，人(功能障碍者)通过与辅助技术的相互配合，从而完成一定的活动，最大限度地达到生活自理和社会参与。HAAT 模型三个发展阶段见图 2。Cook 和 Hussey 于 1995 年首次提出 HAAT 模型，见图 2a；Cook^[7]与 Miller Polgar 于 2008 年对模型进一步推演，见图 2b；Giesbrecht.Ed^[8]于 2013 年



图 1 常见的几类沟通辅具
Fig.1 Common types of communication aids

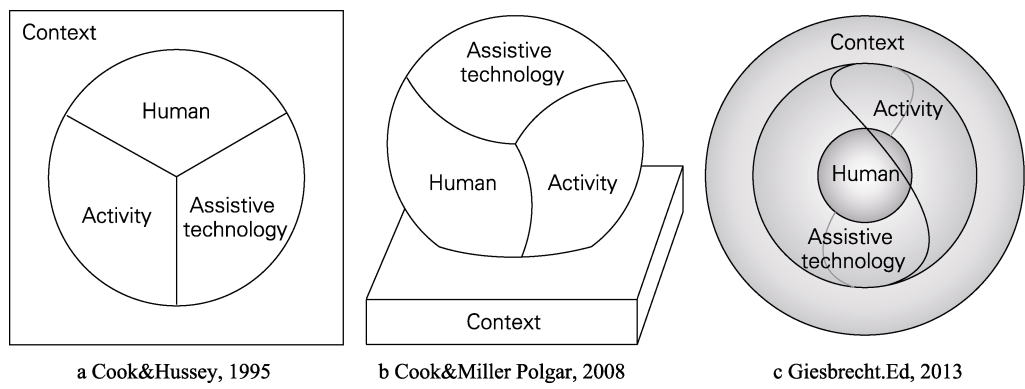


图 2 HAAT 模型三个发展阶段
Fig.2 Three development stages of HAAT model

的 HAAT 模型改进方案, 见图 2c。Giesbrecht.Ed 的改进模型在前两个阶段的基础上, 更明确了 HAAT 的要素地位和理论内涵: 代表“人(功能障碍者)”的球体位于模型中央, 突出了“人(功能障碍者)”在模型里的中心地位; “活动”和“辅助技术”相互交织于中间区域, 表示需要优化两者之间的匹配, 其中, 人机界面是关键; 外部球体是包络其他三个要素的所有情境, 展示出情境对其他要素的广泛影响。

Chang Y J 和 Wang T Y^[9]运用 HAAT 模型指导设计了一款基于蓝牙和扫描技术的寻路测向设备模型, 为认知障碍者提供导航服务, 并通过测试得出该模型人机界面友好、寻路功能可靠; Routhier 等人^[10]通过 HAAT 模型分析轮椅的设计和结构, 探析影响轮椅移动的各种因素, 提出评估轮椅移动性能的概念框架; Louie 等人^[11]利用 HAAT 模型阐释专为一个中国先天性上肢缺陷妇女设计的喂养装置, 参与者在使用定制喂食装置后, 表示具有良好、积极的体验。

3 基于 HAAT 模型的运动性失语症老人沟通辅具设计策略

HAAT 模型中的四个核心要素, “人(功能障碍者)”“活动”“情境”“辅助技术”, 从设计领域的角度可具体表达为“运动性失语症老人”“沟通任务”“使用情境”与“沟通辅具”, 运动性失语症老人沟通辅具设计的 HAAT 模型要素及内容见图 3。由此, 依据 Giesbrecht.Ed 改进模型的理论内涵, 分析各要素的主要内容及特点, 结合以用户为中心的设计理念, 提出基于 HAAT 模型的运动性失语症老人沟通辅具设计策略。

3.1 以用户为中心全面评估功能特征

不同的运动性失语症老人在个体功能特征上存

在较大差异, 他们在感官功能、认知功能、运动功能等方面的强弱, 会对沟通辅具的使用效率产生直接影响。因此, 设计师需积极配合康复师, 参与到全面评估老人功能特征的过程中, 通过获取与分析影响因素, 指导设计以提升沟通辅具的易用性与适用性。运动性失语症老人评估内容见图 4。

1) 感官功能。老人随着年龄增长, 感官功能下降, 对外界事物的敏感度减弱, 刺激阈值增加, 意味着需要更强的感官刺激才能引起机体反应。感官功能衰弱是不可逆转的客观生理规律, 但通过设计可以加强、辅助与支持他们在视觉、听觉、触觉方面的功能, 帮助提升自身的生活自理能力。例如, 视觉方面, 加大界面目标文字或图片的尺寸, 增加目标主体颜色与背景色的对比度, 突出目标的视觉焦点信息。听觉方面, 提供语音信息帮助用户更好地认知和指导产品操作, 运用乐音、自然音等反馈方式做出功能提示或提醒^[12]。触觉方面, 在产品表面增加必要的凹凸感、颗粒材质, 或增加振动、温度变化等方式给予老年人易于感知的提示。

2) 认知功能。当交互界面设计与老人的认知特点不符合, 存在认知上的不匹配时, 老人在使用产品过程中就会遇到各种问题与困难, 造成焦虑、排斥、恐惧等负面情绪。因此, 沟通辅具设计应当以老人的使用经验、记忆、学习能力和识字能力等为指导, 在产品界面设计中采用适合他们认知方式的辅助性沟通符号。辅助性沟通符号, 是利用身体以外的符号来完成沟通过程, 从具体到抽象, 包括实物、模型、照片(彩色、黑白)、图片(彩色、黑白)、文字^[13]。例如, 文字与图片组合是界面信息设计的常用方式之一, 对于老人, 文字辨认率最好的是宋体、黑体和中圆体, 楷体字较差^[14]。对于识字能力差的老人, 可减少文字的使用, 用图片、照片予以替代。关于图片的

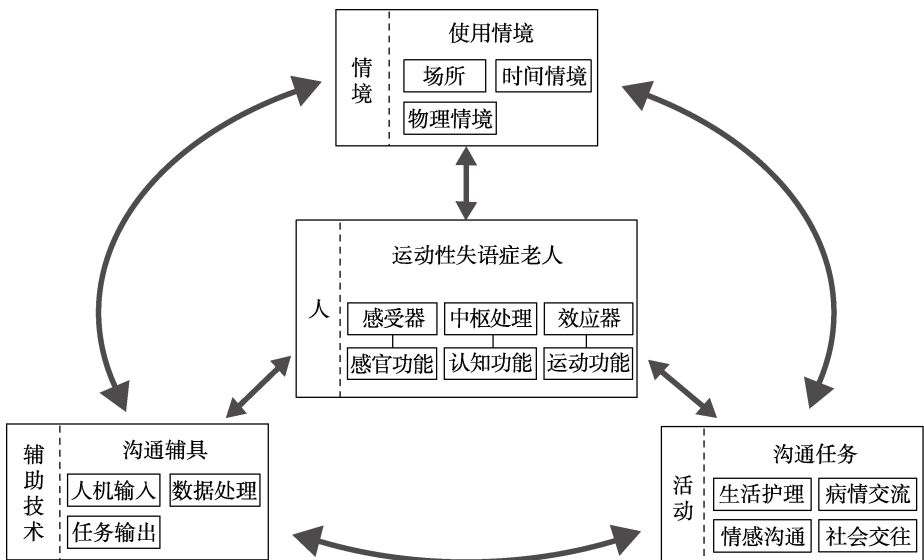


图 3 运动性失语症老人沟通辅具设计的 HAAT 模型要素及内容

Fig.3 HAAT model elements and contents in the design of communication aids for the elderly with Broca's aphasia

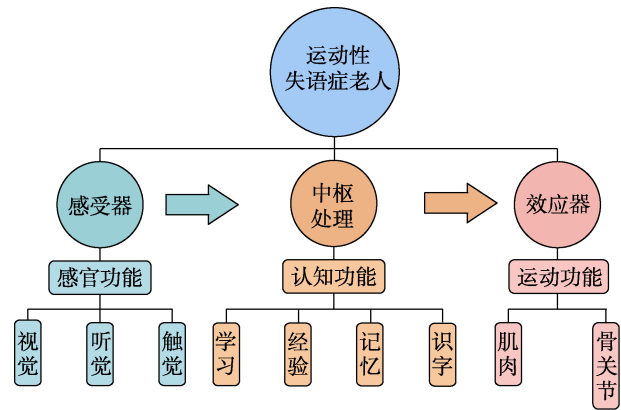


图 5 左侧的绘制图片较右侧的真实照片更易辨认
Fig.5 The drawn pictures on the left are more recognizable than the real photos on the right

使用，一方面，真实事物的照片、与实际生活关系密切的图像能够老年人的经验认知进行较好的匹配，让他们无需太多的思考便可以理解其所代表的含义^[15]，而另一方面，结构、元素简单的绘制图片，往往又比真实图像更清晰，更易辨认。左侧的绘制图片较右侧的真实照片更易辨认，见图 5。因此，设计师需要根

据老人的实际情况，保证辅助性沟通符号在易于辨识与易于理解间找到最合适位置，选取更为合适的信息内容与形式，才能设计出合格的沟通符号。

3) 运动功能。运动性失语症老人不仅存在沟通困难，部分还伴有肢体运动功能障碍。运动由人体肌肉收缩牵拉骨关节而形成，评估骨关节活动能力和肌肉张力、耐力、协调性可以衡量老人的运动能力。作为执行操作最频繁的部位，手（手指）成为评估运动能力的首选，手的运动能力对设计操作界面目标信息的数量、大小及目标之间的间隔距离有直接影响。例如，上肢震颤老人在点击界面目标时由于手部震颤易发生误操作，因此界面目标信息数量宜少，尺寸、间距宜大；偏瘫老人，可将常用内容设计于健侧界面，如右侧偏瘫者应将常用内容设计于左侧界面。若老人手部运动能力差，可依次对其头部、嘴、脚等部位进行评估，并辅以头杖、嘴杖等工具配合用于点击界面。若以上部位运动能力均较差，老人还可靠眼部凝视，采用眼动交互式方法进行操作。另外，没有能力进行移动、持握、携带沟通辅具的老人，可考虑将辅具固定（安置支架）于轮椅、床头等长期坐、卧的地方。

3.2 围绕沟通任务选择人一机输入方式

对于运动性失语症老人，常见的沟通任务有生活护理、病情交流、情感沟通、社会交往、突发事件等。不同的沟通任务，其优先级和特点有较大的区别，因而人一机输入方式有所不同，沟通任务类型的输入方式见表 1。与生活护理相关的沟通任务在信息架构中的优先级最高，且根据其特点应以最少的交互步骤、最短的时间帮助使用者传达信息和任务，如将入厕、吃饭、服药等信息以图片—词组组合的形式直接展示于界面让用户点击，通过语音输出告知照护者。与病情交流、情感沟通相关的中频任务，虽对象较固定（医生、家人或朋友），但沟通语言不再是简单的词组，多以句子为常见，可采用以词组—词组组合为句子或文字书写的输入方式。与社会交往、突发事件相关的低频任务，因其对象、内容的不确定性和复杂性，采用文字书写来表达不同的沟通需求。七鑫易维“眼控平板一体机”沟通辅具三种输入方式见图 6，分别是文字书写、词组—词组组合为句子、图片—词组组合。

表 1 沟通任务类型的输入方式
Tab.1 Input method of communication task type

优先级	类型	举例	特点	输入方式
高频任务	与生活护理相关	入厕、吃饭、服药、寒冷、睡觉等	沟通对象固定（照护者），内容明了，语言简单（词组）	图片—词组组合
中频任务	与病情交流、情感沟通相关	与家人聊天、与医生咨询病情等	沟通对象较固定，内容不定，语言复杂（句子）	词组—词组组合为句子、文字书写
低频任务	社会交往、突发事件	社区活动、自然灾害等	沟通对象不一，内容不定，语言复杂（句子）	文字书写



图 6 七鑫易维“眼控平板一体机”沟通辅具三种输入方式
Fig.6 Three input modes of Qixin Yiwei's “eye control tablet integrated machine” communication aids

3.3 使用情境对沟通辅具的广泛影响

产品的使用情境是人们的心理动作及行为在特定时间、特定环境及实践内发生的状况，在情境中的人、物、环境一直处于交互关系状态^[16]。老人使用沟通辅具的过程中，使用情境包含场所、时间情境、物理情境三个部分。（1）场所。产品使用是在特定的场所中进行的。特定的场所，老人会产生特定的沟通需求。例如，老人走进超市，会产生向工作人员咨询某种商品价格的沟通需求；老人去到医院，会和医生交流与自身疾病相关的治疗方案。设计师应当充分挖掘不同场所中老人易触发的沟通需求，为设计提供精准化、差异化的内容预设，使沟通服务更为专业与便捷，真正满足老人在特定场所中的需求。（2）时间情境。时间是用户需求的另一个重要影响因素。老人在日常生活自理中的沟通需求，与时间点有着较为显著的关联性，呈现出较一般人更加遵守作息时间和恪守成规的特性。基于老人的时间特性，考察他们一天的基本活动，分析出其中较为固定需求的时间点或时间段，如吃饭、睡觉、吃药，将其纳入沟通辅具设计的提醒

事项，通过系统个性化设置，协助老人提高日常生活自理能力。（3）物理情境。影响沟通辅具使用的物理情境因素主要有声音、光线、温度。理想的沟通辅具，应当具备自动检测当下情境中的物理信息，并做出适用于老人的即时处理。例如，在嘈杂的菜市场和安静的书店里，系统能自动升高或降低输出声音的分贝；在明亮的广场和昏暗的卧室里，屏幕自动调节光亮程度等。

4 运动性失语症老人沟通辅具设计实践

4.1 用户评估

在成都市运动性失语症老人调研过程中，设计师与康复师共同参与其功能特征评估阶段，以沟通障碍者需求判定样本问卷为依据，结合访谈对老人的身体功能、日常活动、使用智能产品情况、生活困难、沟通需求进行全面、准确地评估。从问卷和访谈资料中，筛选出对沟通辅具设计有指导意义的项目内容，用户调研信息及评估结果见表 2。

表 2 用户调研信息及评估结果
Tab.2 User survey information and evaluation results

王大爷（运动性失语症患者）	
基本信息：男，68 岁，退休 患病时长：2 年左右 养老情况：居家养老，老伴照顾（老伴 65 岁，健康状况良好） 失语状况：自发性沟通差，发音呈非流利性、电报式，对方难以听懂	
身体功能评估	
感官功能：听、触觉功能良好，视力较低 生活自理能力：能自主吃饭、吃药，但穿衣、入厕、洗澡等需要协助 上肢动作能力：右上肢较左上肢运动能力更好，右手指物、抓握、写字能力较左手强 社会互动、学习能力：与周围人互动良好，学习能力一般，识字 行动能力：行走缓慢，需拄拐杖	
日常活动场所及时间	使用智能产品情况
居家 70%，社区 10%，医院 10%，商场、公园、访亲等 10%	会操作智能手机、平板电脑的基本功能，最常使用的应用软件为微信
遇到的困难	沟通需求
无法与人正常交流，沟通需求得不到满足，出行较困难	生活护理、病情交流、情感沟通、社会交往



图 7 “心语” APP 交互界面
Fig.7 Interactive interface of “Xinyu” APP

4.2 方案设计

设计实践产品为 IPAD 端沟通辅具 APP——“心语”，“心语” APP 交互界面见图 7，与传统沟通辅助仪和系统相比，其成本更低，适配性更强，易于下载与更新，普及性高。

“心语” APP 由生活护理、沟通交流、病情诊断和个人中心四大功能组成，功能数量适宜，操作方式简单，交互层级少。根据调研，按照老人功能需求的高低布局功能区域面积，主页见图 7b。“生活护理”为日常最频繁使用的功能，因此设计其功能区域面积最大，易于点击操作，而“个人中心”使用频率最低，设置其区域面积最小。其次，据表 2 结果得知，老人右上肢运动能力强于左上肢，以右上肢主导界面操作。为减少活动范围和减轻操作负担，常用功能及导航栏均设置于界面偏右侧。

“心语” APP 的人—机输入方式为图片—词组组合、词组—词组组合、文字书写三种。“生活护理”沟通任务使用频繁，内容简单，采用图片—词组组合形式输入；“病情诊断”“沟通交流”内容复杂多样，设计为词组—词组组合成句的输入方式；文字书写虽输入效率低，但具有可灵活表达沟通内容的优点，因此设置于状态栏中，文字书写见图 7 h，不占用界面空间的同时方便老人随时调取使用。

APP 界面的中文字采用老人易于识别的黑体。界面主色选用绿色和白色，色调简洁柔和，对比清晰，避免了色彩复杂，以及易造成的视觉疲惫感的高亮色。考虑到老人对图形的识别和理解能力有限，图标在简化的基础上设计形象生动的图形符号，并附加文字力求信息传达的准确性，而图 7b 的功能区图标面积占比较大，可搭配实物图片，与老人的经验认知更好地匹配。

5 结语

国内目前现有的沟通辅具存在功能定位的偏差和交互、界面、视觉设计的缺陷，给运动性失语症老人的使用带来诸多困扰，难以真正提升他们的生活质量。通过引入 HAAT 模型，深入分析沟通辅具设计的“运动性失语症老人”“沟通任务”“使用情境”与“沟通辅具”之间的关系，从而提出适用于运动性失语症老人的沟通辅具设计策略与方法。结合对失语症老人的调查访谈和功能评估，设计出一款沟通辅具应用软件——“心语” APP，旨在为他们日常生活中的沟通提供更为轻松、便利的方式，体现了作为设计师对特殊人群的关心与关怀。此外，HAAT 模型在运动性失语症老人沟通辅具的设计与应用上的尝试，也将有助于该理论在辅具设计领域进一步拓展，为研究带来新的方向和方法。

参考文献：

- [1] 赵妍妍, 马建军. 脑卒中后运动性失语症的研究进展[J]. 中国实用神经疾病杂志, 2016(12): 72-73.
ZHAO Yan-yan, MA Jian-jun. Research Progress of Motor Aphasia After Stroke[J]. Chinese Journal of Practical Nervous Diseases, 2016(12): 72-73.
- [2] 王陇德, 刘建民, 杨弋, 等. 我国脑卒中防治仍面临巨大挑战——《中国脑卒中防治报告 2018》概要[J]. 中国循环杂志, 2019, 34(2): 6-20.
WANG Long-de, LIU Jian-min, YANG Yi, et al. The Prevention and Treatment of Stroke Still Face Huge Challenges: Brief Report on Stroke Prevention and Treatment in China, 2018[J]. Chinese Circulation Journal, 2019, 34(2): 6-20.

- [3] 陈卫. 国际视野下的中国人口老龄化[J]. 北京大学学报: 哲学社会科学版, 2016(6): 84-94.
CHEN Wei. China's Population Ageing from An International Perspective[J]. Journal of Peking University(Philosophy and Social Sciences), 2016(6): 84-94.
- [4] 陈光. 浅谈我国辅助器具科研工作未来发展[J]. 中国康复理论与实践, 2012, 18(3): 201-203.
CHEN Guang. China Assistive Devices Research: Today and Tomorrow[J]. Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice, 2012, 18(3): 201-203.
- [5] 陈强, 徐云. 辅助沟通系统及实用技术[M]. 北京: 科学出版社, 2011.
CHEN Qiang, XU Yun. Augmentative & Alternative Communication and Application[M]. Beijing: Science Press, 2011.
- [6] Cook A, Hussey S. Assistive Technologies: Principles and Practice[M]. St. Louis: Mosby Year Book, 1995.
- [7] Cook A, Miller Polgar J. Cook & Hussey's Assistive Technologies: Principles and Practice (3rd ed.)[M]. St. Louis: Mosby Elsevier, 2008.
- [8] Giesbrecht Ed. Application of the Human Activity Assistive Technology Model for Occupational Therapy Research[J]. Australian Occupational Therapy Journal, 2013, 60(4): 230-240.
- [9] Chang Y J, Wang T Y. Comparing Picture and Video Prompting in Autonomous Indoor Wayfinding for Individuals with Cognitive Impairments[J]. Personal and Ubiquitous Computing, 2010, 14(8): 737-747.
- [10] Routhier F, Vincent C, Desrosiers J, et al. Mobility of Wheelchair Users: A Proposed Performance Assessment Framework[J]. Disability & Rehabilitation, 2003, 25(1): 19-34.
- [11] Louie S W S, Lai F H Y, Poon C M Y, et al. Use of A Tailor-Made Feeding Device to Improve the Self-Feeding Skills of A Woman with Congenital Upper Limb Deficiency[J]. The British Journal of Occupational Therapy, 2009, 72(9): 401-404.
- [12] 张萍, 丁晓敏. 代偿机制下适老智慧产品交互设计研究[J]. 图学学报, 2018, 39(4): 700-705.
ZHANG Ping, DING Xiao-min. Research on Interaction Design of Intelligent Products for the Elderly under Compensatory Mechanism[J]. Journal of Graphics, 2018, 39(4): 700-705.
- [13] 林楚莹, 陈卓铭, 黄伟新, 等. 智能型辅助沟通认知训练系统的设计原理及应用[J]. 中国康复, 2014(5): 337-340.
LIN Chu-ying, CHEN Zhuo-ming, HUANG Wei-xin, et al. Design Principle and Application of Intelligent Assistant Communication Cognitive Training System[J]. Chinese Journal of Rehabilitation, 2014(5): 337-340.
- [14] 杨志. 针对老年人的文字、色彩及版式设计研究述评[J]. 装饰, 2012(5): 86-87.
YANG Zhi. Review on the Study of Text, Color and Layout Design for the Elderly[J]. Zhuangshi, 2012(5): 86-87.
- [15] 汪颖, 余姝姝. 针对老年用户的手机应用程序界面图标辨识度研究[J]. 包装工程, 2019, 40(8): 202-208.
WANG Ying, YU Shu-shu. Icon Identification of Mobile Application Interface for Elderly Users[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(8): 202-208.
- [16] 沙强, 周美霞. 使用情境视角下的儿童推车人性化设计研究[J]. 包装工程, 2017, 38(18): 104-108.
SHA Qiang, ZHOU Mei-xia. Humanized Design of Children's Carts from the Perspective of Context[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(18): 104-108.