



# 面向老年社会的健康机器人科学技术 ——迎接健康文艺复兴时代的到来

罗志伟

神户大学自然科学系先端融合研究环,日本神户 657-8501

伴随着工业化和现代化的社会变迁,人类已开始加速步入老年社会。社会的老年化将增强人们的健康和环境意识,从而为创新以健康技术和健康服务业为代表的健康产业开拓广阔的市场。面对老年社会,机器人技术不但会进一步取代人们从事第一产业的体力劳动,而且会渗透到未来社会的健康、医疗、社会福祉乃至家庭和社区服务中,从而带来技术、服务和生活方式的根本改变,推动社会经济和文化的变革,迎来一个崭新的健康文艺复兴新时代。本文结合世界首例护理机器人研发的经验教训,提倡构建体系化健康机器人研发创新平台,构筑有效评价体系,并在此基础上探讨健康机器人技术的体系化和实际应用。

伴随着人类工业化和现代化社会发展的变迁,先进发达国家和包括中国在内的部分发展中国家已加速步入或正在步入人口老龄化社会。几千年传承下来的“家中有老是个宝”以及“养子防老”等东方传统文化价值观正受到极大冲击。取而代之的现代社会价值观的延伸则消极地认为,人口老龄化将带来社会劳动力大幅下降,老人护理劳务加剧以及医疗费急速膨胀,从而给产业界,社会经济和社会医疗健康保障体系带来深刻的负面影响。

以日本为例,从2005年开始,日本已成为世界老年人口比例最高的高龄国家。至今为止,65岁以上的老人已超过国民总人口的25%,与15~64岁范围的人口相比,比例为2.3:1。也就是说,每一位老人的养老金由2.3位劳动人口所交的国民保险来支付。到2060年,预计日本65岁以上的老人将达到国民人口的40%。每一位老人所对应的劳动人口将下降到1.3。与此相对应,社会保障支付已大大超过GDP的20%,并伴随着高科技医疗技术的临床投入,国家医疗费支付超过GDP的10%。从家庭结构上看,独居老人家庭

已超过了50%。到目前为止,日本偏远地区的老年化已趋于平稳,而更加严重的是都市型老年化问题正日趋加速,孤独死和都市中心地区老人的过度集中将给房价和地价带来重大打击。老人需要被护理的平均年数超过了10年。加上婴儿出生率的下降,也就是少子化,2014年度,日本国民总人口下降达到27万<sup>[1,2]</sup>。

值得思考的是,社会的老年化是否有可能相反给社会带来崭新的、正面的乃至积极的价值观,给社会注入新的活力?以机器人技术为代表的高新科技是否会成为老年社会贡献的救世主,还是会落为引发社会医疗费膨胀、经济萧条、人类退化和颓废的元凶?对于这些涉及到人类幸福、文化价值观及社会经济发展的根本问题,科技工作者必须给予高度重视和思考,并为引领社会发展提供全新的世界观和健全的科学技术。

不容否认,近代科学技术的发展极大保障和丰富了人们的物质生活和社会生活,改变了人们的世界观。然而,社会的老年化将会极大影响人们对未来科学技术发展的取向和价值观。社会的老年化将越来越促使人们提高对

个人和社会整体的健康和环境意识。通俗点讲,现在人们生了病才想到要去就医,而未来人们将会主动化钱来买健康。因此,健康技术和健康服务业将迎来广阔的市场需求。面对老年社会,机器人技术的健全发展不但会进一步取代人们从事第一产业的体力劳动,而且还会渗透到未来社会的健康、医疗、社会福祉乃至家庭和社区服务中来,带来技术、服务和生活方式的根本改变推动社会经济、文化的变革,引领一个崭新的健康文艺复兴的新时代。

面对健康新时代,应该如何推动智能机器人科技的健康发展?机器人的有效性、安全性和方便性等性能指标应该如何加以评价?有哪些实际的技术可能性?如何创新健康机器人的科技体系?本文围绕以上问题,结合目前具体研究开发的健康、医疗福祉机器人技术给予初步探讨。

## 1 RI-MAN 危机

2006年3月,作者在日本理化学研究所仿生控制研究中心带领以环境自适应机器人系统研究小组为核心的研发团队经过5年多的努力奋斗,在世界

上首次研发了面向老人护理的机器人 RI-MAN (即与人交互的机器人 Robot Interacting with Human) [3-13] (图 1)。RI-MAN 可以通过与人对话确认和初步理解人所指示的操作要求, 并且根据对立体视觉、具有空间音源定位功能的听觉和皮肤表面触觉等外界传感信息的实时采集和融合处理观察被护理者的姿态、体重等全身运动学和动力学信息, 进而通过分布式实时力觉反馈控制利用, 全身接触实现抱起被护理者的动作, 完成护理工作中最劳累的移乘作业。

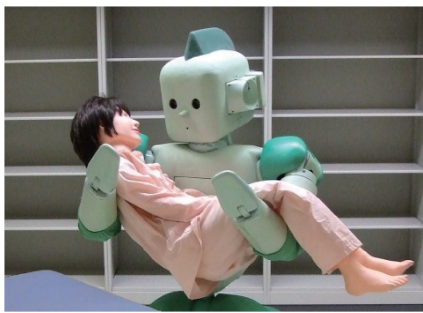


图 1 RI-MAN 护理机器人

Fig. 1 A human care robot RI-MAN

为了实现以上护理操作, RI-MAN 研发中攻克了一系列核心技术。首先, 众所周知, 自重比一直是困扰工业机器人降低其能耗并实现大马力驱动的重要问题。通常, 一台超过 100 kg 的工业机器人能够抓取的物体质量大约仅为 1~5 kg, 也就是说, 其自重比大约只在 1:100~1:20 之间。为了实现以与人体相等身长大小的机构来大马力操作人体重量, RI-MAN 采用了单关节双马达驱动方式(图 2)及全身接触操作模式(Full Body Manipulation)(图 1), 使其操作性能的自重比大幅度提高到了 1:3。RI-MAN 全身有 19 个自由度, 其中包括头部 3 自由度, 双手臂各 6 自由度, 体部 2 自由度和移动 2 自由度。自身体重 100 kg, 可以抱起大约 30~40 kg 的物体。为了使关节马达机构不影响全身操作模式, RI-MAN 的手臂机构实现了仿人上肢的结构设计, 使其关节部位不被大型机械部件所占而有而造成

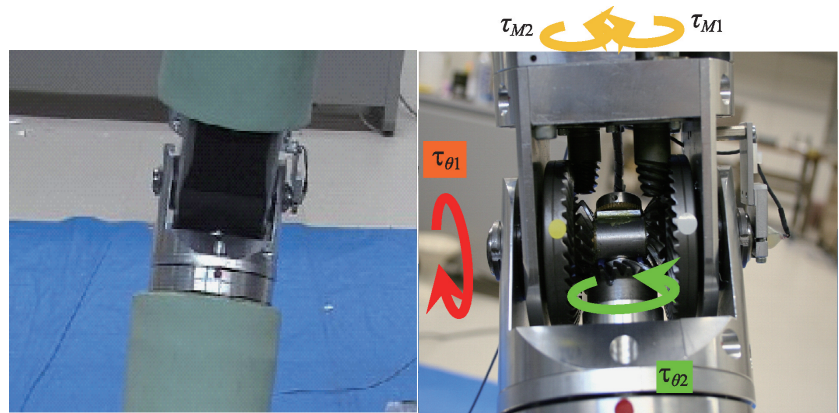


图 2 RI-MAN 的单关节双马达驱动方式

Fig. 2 Coupling motor driven structure in the joint of RI-MAN

不必要的动作障碍。

为了实现对全身各关节驱动马达的实时同步分布式控制, RI-MAN 配用了自主开发的超小型可重组式计算机控制器(3 cm×5 cm)并采用 CU-net 的通信协议, 使各马达之间的通信延迟在 2 ms 以下。整机机构小巧, 动作灵活。该小型控制器还具有多通道输入输出

功能, 以组合方式最多可实现 64 通道的 A/D 转换用于采集全身皮肤分布式触觉, 使得全身接触式操作模式中廉价得到全接触部位的力觉信息(图 3, 图 4)。

为了实现护理操作中的安全性, RI-MAN 采用了全身柔性皮肤(图 5), 并运用自主开发的沉浸式 3 维动力学仿真和仿人运动学习算法等方法对其

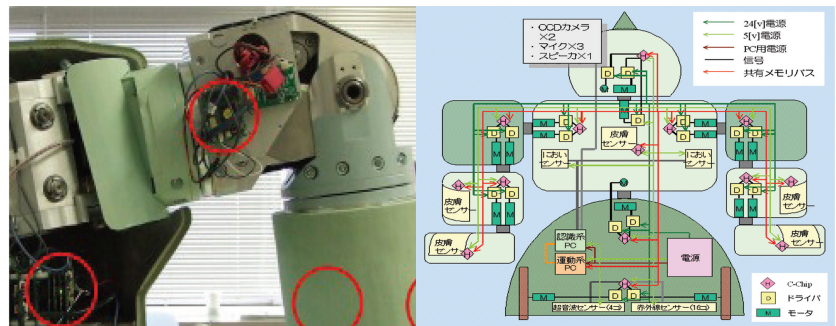


图 3 RI-MAN 配用的超小型可重组式计算机控制网络

Fig. 3 Computer control network within RI-MAN

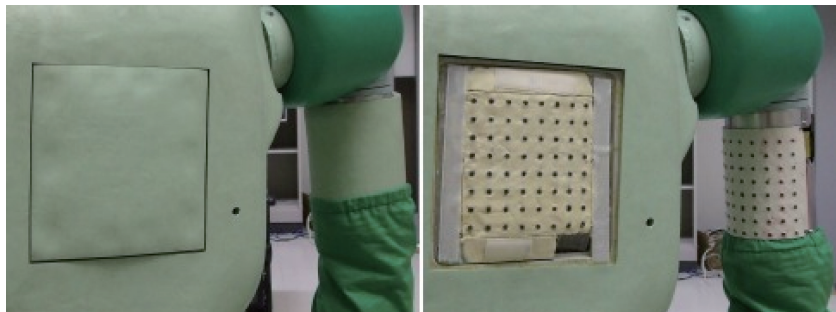


图 4 RI-MAN 配用的全身分布式触觉皮肤

Fig. 4 The tactile sensing skin of RI-MAN



动作进行充分调节(图6)。除此以外, RI-MAN 还配有立体视觉,可实时探测外界人物的脸部信息(图7),以及立体听觉(图8)辨别外界音源的空间位置继而进行有效的、针对性的语音识别和对话,降低环境杂音干扰。基于以上各项核心技术的统合应用, RI-MAN 可以成功地按照使用者的语言指令,安全实现对被护理人员的移乘护理工作(图9)。

RI-MAN 总体的研发费用约为5000万日元。成果发布后,包括日本国内外主流媒体在内,社会各界的正面反响远远超出了研发人员的期待。世界对 RI-MAN 的赞美远远超过了对技术的好奇。

然而机器人研发成功不等于就有市场。不能仅仅从技术层面去判断,更重要的是要考虑到能否与社会实际应用相符合。随着大众对 RI-MAN 的宣传,批判之声也随之而来。

社会学家批判说:你们可以实现用机器人去护理老人,可是你们是否能够想象用机器人去照顾自己的婴儿?

护理学家认为:对人护理的精神所在不仅仅要去搬动他,更重要的是要去感触他,引导他走向自立和恢复对生活的自信。

社会福利机构怨言:哪能买得起?那么大的设备福利设施都放不下,家庭里哪有空间放置?那怕买得起,在一般机构和家庭里谁会使用它?

生理学家指出:老年人本来就处在老化过程中,过度的护理也许会加快老人身体功能的老化,甚至神经系统意欲的衰退。

产品化厂家担心:万一产品发生故障造成人身事故的话,该由谁来承担责任和风险?

对于还沉浸在开发成功的喜悦和媒体赞扬氛围中的研发团队来说,各界的批评无疑给我们了莫大的打击,甚比 RI-MAN 危机。有益的批评促使我们深刻理解到应该建立体系化的全方位健康机器人创新平台和评价体系,并且应该更深层次地思考技术与人们健康的本质关系。

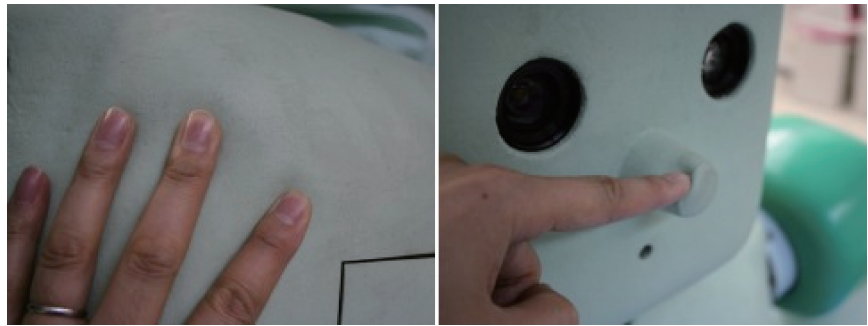


图5 RI-MAN全身采用柔性皮肤

Fig. 5 Full body soft skin of RI-MAN

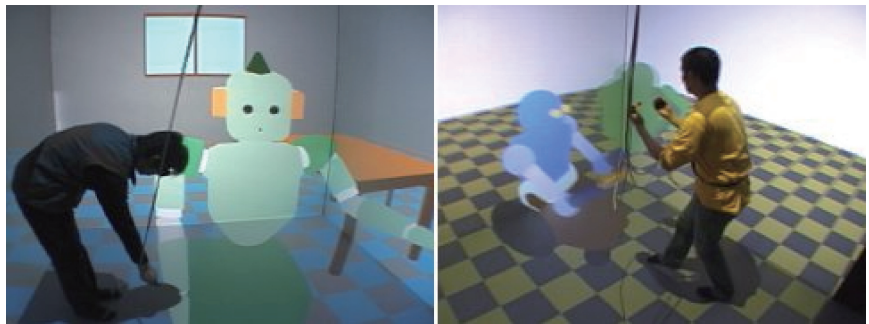


图6 沉浸式3维动力学仿真和仿人运动学习

Fig. 6 Immersion type 3D dynamic simulation and learning from human

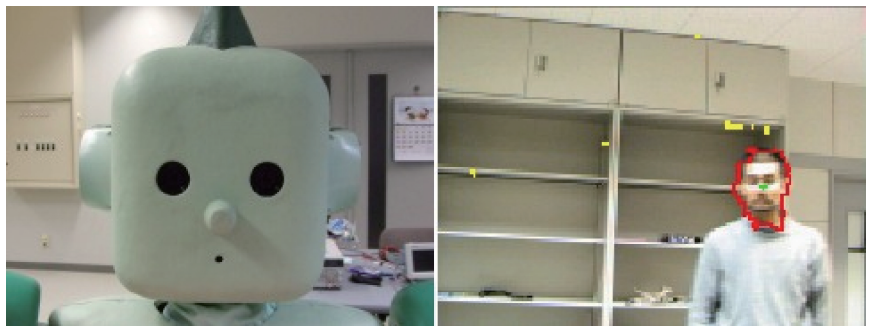


图7 RI-MAN的立体视觉可实时探测人物的脸部信息

Fig. 7 Stereo vision of RI-MAN to detect human face in real time

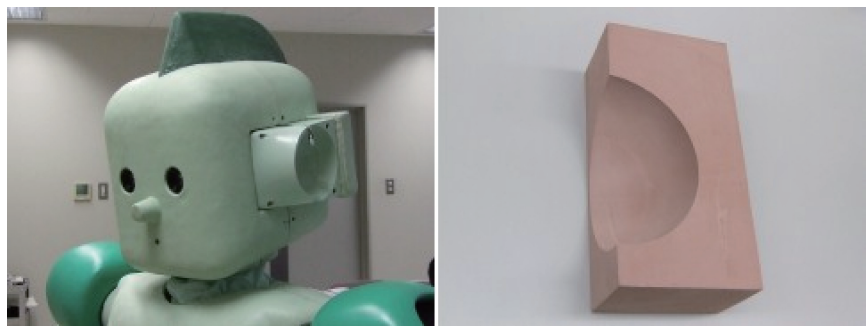


图8 RI-MAN的立体听觉可辨别外界音源的空间位置继而进行语音识别和对话

Fig. 8 Stereo sound localization and recognition of RI-MAN



图9 RI-MAN成功地按照使用者的语言指令,安全实现对被护理人员的移乘护理工作

Fig. 9 Human care task by RI-MAN

## 2 健康机器人研发创新平台的体系化

机器人科技以多维代数学和微分方程等高等数学为基础,由机械学,电子电工学,计算机科学,信息学和控制论等立足于物理学的各大工科类学科出发,确立了以运动学、动力学、测量与非线性机械控制及人工智能为支柱的学术体系。20世纪60年代中期开始在产业界投入实际使用,对于减轻劳动力,提高生产质量,降低成本发挥了巨大作用。

从机器人与人的关系上来分析,引入产业机器人的根本目的在于让人远离工厂生产第一线的体力劳动,远离机器人。正因为如此,机器人科技长期以来忽略了其学术体系构筑的另一半,也就是参考、模仿和统合人与动物的生理学,身体力学,大脑神经科学以及认知科学、心理学和情感等机能,甚至包括动物一生的诞生、发育成长到老化的医生过程中的各种机制。

当机器人走进人们的日常生活,为促进人类健康作贡献时,必须要重新思考和探讨健康机器人技术及其研发的理念、体系化,开拓坚实的学术基础。

一般来说,探讨研究开发平台的体系化问题需要首先明确体系的维度,建立各维度之间的关系,确立体系的结构和目的。其中有一系列的问题值得思考。包括健康机器人的定义?认定标准?政府如何对技术进行认证和调控?用于哪些使用者?在哪些场合使用?是否好用?人们是否乐意使用?

对健康是否有效?是否安全?有无副作用?需要哪些技术?有没有市场?如何完成从开发到产品化?如何进行临床试验和维护?谁来评价?如何评价?社会经济效果如何?有没有风险?谁来承担保险等一系列的问题。

与现有机械产业、电子产业不同的是,由于需要临床试验、客观评价、维修维护、风险分担等各环节,使得健康机器人技术的研发及市场化无法由某个企业单独完成。必须在社会建立完善的创新平台体系来构造企业,研究机关,评价机构和医院,街道的相互分工。协调政府,企业与研究机关的相互合作。

以日本神户市的发展为例。神户市是一个依山傍海的国际大都市。地处京阪神沿海工业地带。第二次世界大战结束后,依靠沿海金字塔形重工业的发展,成为日本第5大都市。然而不幸的是,1995年发生了阪神淡路大震灾。都市直下型8级地震摧毁了城市几乎所有的基础设施,阻断了交通,破坏了金字塔形重工业的产业链。在思考救灾复兴时,神户市思寻城市面向未来的发展机遇,大胆提出了医疗产业都市构想。以人工岛为基地,全方位开展医疗健康产业建设。经过20年的艰苦努力,如今在神户的人工岛上不但引进了日本最具权威的理化学研究所的生物学研究部门和拥有日本最快的超级计算机的计算科学研究机构,还相继建成了6所高水平的大型专业医院,引进了300多家健康医疗企业,并配有公共

医疗信息服务中心、健康福利技术评价机构、国家医疗技术调控认证机构。市政府大力协调各部门构造医疗技术产业化创新平台帮助企业促进医疗健康技术的研发、评价、临床试验、政府认证,以及产品化、市场化等一系列关键环节。系统、有效地促进了健康技术的研究开发、产业化以及在市民健康服务中的实际应用。

以此为鉴,健康机器人技术的发展与产业化离不开健全的、体系化的开发创新平台,其职能不仅单纯局限于技术开发,还必须包括临床试验、规格化、标准化、政府认证、制造、流通、营销、运用、调整、维护与保险等各大环节。

在体系化研发创新的大环境下,健康机器人技术的评价体系应该如何构建?针对评价体系建立问题,神户市以作者为代表试行建立了福祉用具的使用指导评价标准体系,并在市内部分地区试点推广运用。

日本是一个全民保险的国家。除了医疗保险制度以外,针对福祉和护理还有两个不同的法律,分别为在1993年10月实施的《福祉用具研究开发与普及促进法律》(简称:福祉用具法)以及2000年开始施行的《护理保险法》。这两个法律对福祉和护理用具的使用对象、目的和用具本身范围给予了明文规定。使用对象规定为老年人、身心障碍者以及护理和被护理人员。用具包括对日常生活提供方便,帮助生活自立的用具,以及用于身心各功能训练的用具和辅具。



至今,福祉用具的评价和标准化还主要偏重于从工程技术角度的评价,缺少从使用者的角度进行人性化的合理评价。工程技术角度的评价包括基于SG,JIS和ISO等标准的评价。ISO的评价具体包括对福祉用具的性能试验,强度试验,冲击试验和疲劳试验,并配有相应的试验器械和性能测量器械。因此,有必要建立新的以人为本的评价体系,以尊重使用者的角度出发,以福祉用具的有效性、方便性,使用者身心可承受性和安全性、信赖性为评价体系的三大支柱,结合使用者的主观与客观评价进行综合定量的判断。

例如,在有效性的评价方面,本评价体系考虑到使用者通过实际使用福祉用具是否提高了生活质量,扩大了日常活动范围以及促进了生活自立,护理劳动负担是否得到减轻,劳动效力是否提高。通过使用福祉用具,身体各种机能是否得到辅助、训练、康复和改善,有没有达到预防诸如跌倒等各种危险事故的效果。

对于方便性和使用者身心可承受性的评价,本体系考虑到使用者是否可以方便地得到有关福祉用具的产品信息,得以自由选择和购买。考虑到是否可以根据个人的身体特征、认知程度、生活环境和生活方式的不同相应地调整,更换和维修福祉用具。考虑使用者是否好用,使用方法说明和表示是否明确,用起来是否舒服。

对于安全性和信赖性的评价,本体系不仅考虑到福祉用具本身可能带有的缺陷,而且还重视由于使用者的失误或不适应而带来的事故。同时也顾及到福祉用具本身的性能老化与卫生清洁问题,以及由于过度依赖用具可能会带来的身体功能退化和生活能力与生活欲望的衰退。

至今为止,福祉用具还没有正规的临床试验机制,福祉用具服务方的各种职责之间还没有形成有效的协调网络。特别是福祉用具到底对人们带来怎样的生活帮助,对使用者的生理和心理带来怎样的变化等问题还没有明确的测量方法与量化评价指标。因此,

在大力研发健康机器人技术阶段,有必要同时开发对健康机器人的科学评价技术。此外,落实健康机器人在社会中的实际应用,不仅要考虑健康机器人本身,还要重视构建机器人的使用环境以及操作人员、维护维修人员的职业培训。更应以全局眼光认识机器人技术的应用给社会带来的实际经济效益。

### 3 健康机器人技术的体系化创新

对于健康机器人技术的研发也应该首先从体系化的角度来加以思考和认识。健康机器人技术本身的体系化结构应该如何构造?对于这个问题可以有若干不同的切入点。首先,可以根据工程技术的不同种类来进行分类整理。也可以根据技术开发历史,从时间轴的角度来分类。当然也可以按照医疗流程,从医生的角度,或者根据患者病情变化的角度来分类。更可以按照人们的生活质量,健康程度或社会服务的角度来进行分类。

根据医疗流程和人们的健康程度,本文主张按用于检查和诊断的健康机器人技术、用于治疗和健康机器人技术、用于康复的健康机器人技术、用于日常生活辅助与护理的健康机器人技术、用于疾病预测和预防的健康机器人技术5大分类来构造健康机器人技术本身的体系化结构。基于这5大类结构体系,下面分别举例介绍有关具体的研发课题。

#### 3.1 用于检查和诊断的机器人技术

首先,在疾病检查和诊断方面,众所周知,当今基于逆问题解析的医学影像诊断技术以及基于内窥镜的体内低侵袭检验技术已得到全面临床应用。未来基于影像的疾病检查和诊断技术将会向更高分辨率,三维影像以及对影像的实时高速处理,医学病灶的数据挖掘和可视化,医学影像的远程传输等方向发展。同时,超微量检测诊断技术也将有望投入临床试验。

对于老年人来说,身体运动功能和大脑认知功能的老化和疾患是直接影响日常生活,给护理工作带来困难的两大主要健康难题。

有关身体运动功能检验技术,与影像等静态医学信息相对比,近年来随着人体动力学模型的建立,使得人们可以对身体运动功能及其疾患进行有效的动力学解析、评价和诊断。例如,为了检查和评价老年人运动平衡功能,防止跌倒,日本厚生劳动省在临床中积极推行“两步行走检验法(two step test)”。如图10所示,该试验法让被检验对象从两脚并立状态开始,尽可能以最大的跨度步行两步,然后再恢复到初始的并立姿势。通过测量这两步的步长并除以身高,可得到一个数值,称为二步值。该方法与其他身体运动平衡功能检验方法的相关统计分析表明,二步值可以有效地评价被检验对象的运动平衡功能。

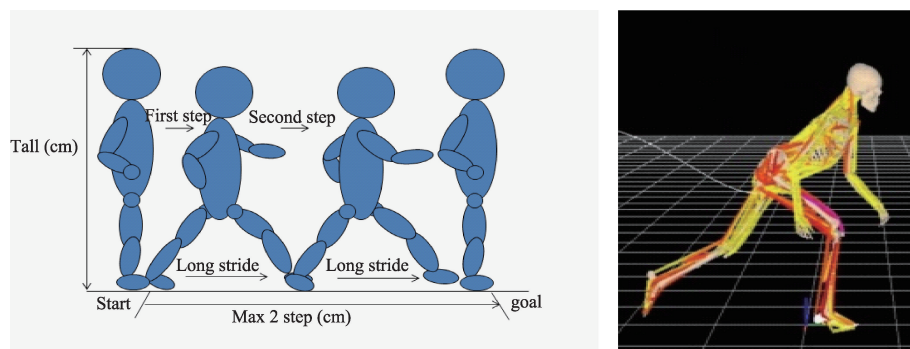


图10 检验和评价老年人运动平衡功能的两步检验法以及动力学解析

Fig. 10 Two-step test of elderly balance function and its dynamic simulation

为了阐明本检验法的生物力学原理,运用机器人运动学和动力学技术,对不同对象的两步步行运动进行了全身运动测量和动力学解析。结果发现,对于二步值较小( $<1.6$ )的那些容易跌倒的对象,其驱动腿部各关节弯曲和延伸的肌肉的同步驱动调节能力明显下降,使得其腿部各关节的机械阻抗调节范围受到限制。这些对象要不就是从一开始腿部各关节就非常强硬,使得其不能跨出大步,要不就是在脚离地或着地时膝关节的机械阻抗非常微弱使得身体重心无法在重力方向调节高低,从而影响其二步值<sup>[14]</sup>。

借助于计算机仿真,已经可以实现用刚体力学来分析全身肌肉骨骼系统的运动功能。随着计算速度的不断加快和身体模型精度的提高,未来可进一步运用流体力学及非线性弹性体力学理解身体运动带来的呼吸、血流及内脏变化等复合动力学现象(multi-physics)。再者,随着人体宏观的物理模型、生理模型、病理模型和药理模型的建立和统合,加上微观分子生物学研究的定量化、结构化,将会推动多尺度(multi-scale)生物学研究的进展,更精确的数字虚拟人将会问世从而更有效地实现对病患的分析、检验和诊断。

另一方面,社会老龄化使得认知症患者急剧增加,它不但影响患者本人的生活质量,而且对家庭乃至社会带来巨

大负担。目前,日本认知症患者已大大超过400万人,给家庭和养老院带来了极大的困难。在高级大脑功能(Higher Brain Function,包括大脑的注意、计划功能、记忆功能和任务执行功能等功能)的检验与评价方面,机器人技术中的虚拟现实技术也大有用武之地。常规的临床神经生理学和临床心理学检测方法虽然可以对高级大脑功能的某些侧面进行测试和评价,却无法评价患者在家庭、街道等日常生活环境中的综合性大脑功能表达。要让医生跟随患者对其日常生活进行观察和评价既不现实也无法满足评价的统一要求。因此,应用虚拟现实技术来统一评价在日常生活中患者的高级大脑功能的技术近年来受到广泛重视。如图11所示,通过与健康学科专家的密切合作,作者开发了用于统一检验与评价高级大脑功能的“虚拟商店街测试平台”。利用该平台,患者可以在虚拟商店街里自由来往或进入特定商店购买指定商品。患者的所有行走和购买行为及所需时间都被自动记录下来定量评价。通过临床试验以及与现有临床神经生理学、心理学检测方法进行相关分析,结果发现本测试平台可以进一步综合评价在日常生活环境中的高级大脑功能<sup>[15-16]</sup>。

### 3.2 用于治疗 and 手术的机器人技术

在治疗和手术机器人技术方面,微创的内窥镜手术机器人已得到医院的

推广采用。它减少了患者的出血和痛苦,使得伤口快速愈合,从而大大缩短了住院疗程,提高了医院病床周转率,增加了医院经济效益。在手术机器人的研发中,如何实现精确定位和手术导航?如何利用机器人来引导实习医生进行手术训练?如何实现手术中的精确力觉反馈?如何实现对细胞乃至细胞膜的微型手术等都是未来机器人研发的重要课题。

除了手术机器人以外,各种治疗机器人也将相继问世。例如,图12为由日本MINATO医科学株式会社开发的一种治疗颈椎病的新型颈椎牵引机器人。通过3维动力学仿真,可以精确计算出在不同牵引力度和角度时患者颈椎各部位的变形,从而帮助临床整形医生给出合理的整形治疗处方(图13)<sup>[17]</sup>。

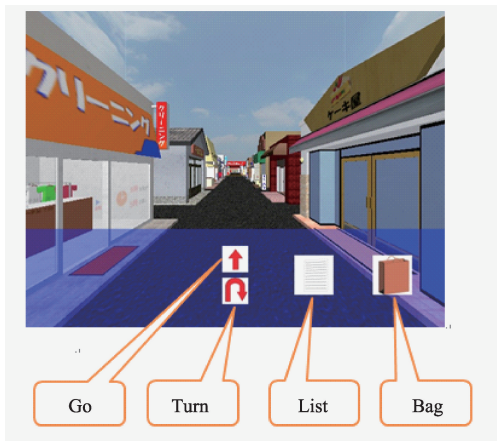


图11 检验与评价高级大脑功能的“虚拟商店街测试平台”  
Fig. 11 A virtual shopping street to evaluate higher brain function



图12 日本MINATO医科学株式会社开发的新型颈椎牵引机器人  
Fig. 12 A new type of cervical traction therapy robot by MINATO Medical Science Co Ltd

### 3.3 用于康复的机器人技术

根据世界卫生组织WHO的统计,心血管疾病是当前全球的头号死因。加上各种交通事故频频发生,康复治疗的社会需求越来越多。典型的康复治疗包括理学疗法PT,作业疗法OT以及

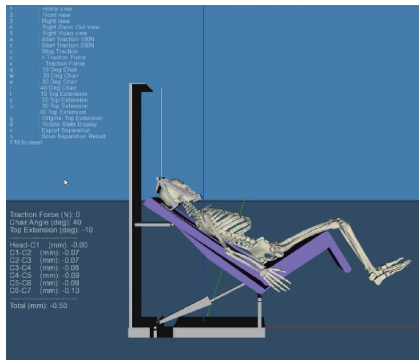


图 13 颈椎牵引机器人的3维动力学仿真  
Fig. 13 3D dynamic simulation of the new type of the cervical traction therapy robot

语言疗法ST。近年来心脏康复疗法也开始受到广泛注视。

面向康复治疗,至今世界上已研发出很多机器人技术用来帮助患者恢复身体运动功能。但是很多技术过度重视机器人对患者身体进行被动式的驱动,而忽视了患者本人的主观意愿和训练动机,对大脑神经的运动控制机能的康复起不到很好的功效。对于偏瘫病人来说,偏瘫部位的肢体往往无法自主运动,或者仅能在很小的局限范围内动作。但是,如果外界给与患肢一定的触觉,患肢就能够跟踪外界触觉执行较大范围的运动。

为了能使患者由被动变主动,更有

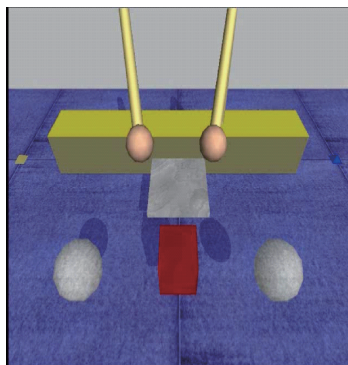


图 14 用于双手协调运动功能康复的机器人系统  
Fig. 14 Development of a robot system for rehabilitation of upper limbs cooperative movement functions

效地激发大脑神经系统的活动,提高自我训练意识和愿望,同时顾及患者的触觉跟踪特性,开发了用于双手协调运动功能康复的机器人系统<sup>[18]</sup>。如图 14 所示,根据患者患肢机能的不同,各机器臂既可以驱动引导患肢来协调另一上肢共同执行游戏动作(比如说,抓起屏幕显示中的红色立方块物体),又可以作为力觉传感装置使得患者能够感觉到机器臂接触到虚拟方块物体时的力觉。为了降低设备成本同时又能实现较好的力觉反馈特性,研究充分运用实时3维动力学仿真与实际机器臂控制相结合,不但节约了设备成本,而且减轻了机械臂本身的机械惯性,使之更有利于实现高精度的力觉诱导和力觉反馈。

另一方面,在下肢运动康复中,人们利用较多的是跑步机。通常跑步机可以使人被动地跟随传送带的速度进行跑步训练。这样的跑步机虽然可以满足健康群体的日常健身,但对患者来说会十分危险。通过对不同跑步速度时下肢着地和蹬地时的地面反作用力进行分析发现,蹬地时地面反作用力的时间积分与跑步速度之间满足一定的线性关系。所以,利用这样的线性关系,可以根据步行者蹬地时的作用力预测其预期跑步的速度。根据这一原理,研发了如图 15 所示的能够自适应步行者跑步速度要求进行实时速度调节的跑步训练系统<sup>[19,20]</sup>。

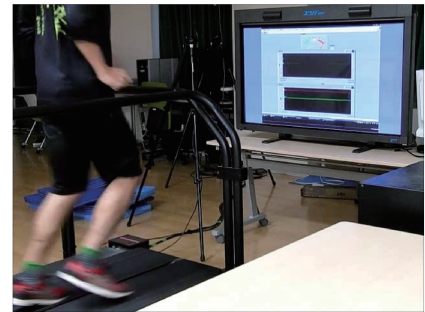


图 15 能够自适应步行者跑步速度要求进行实时速度调节的跑步训练系统  
Fig. 15 An human adaptive treadmill for training locomotion function

### 3.4 用于日常生活辅助与护理的健康机器人技术

包括假肢,拐杖和轮椅在内,世界上用于日常生活辅助和护理方面的福祉用具技术已有数万项专利。与此相比,老年护理中,即使是在像日本这样技术先进的国家,绝大多数的社区护理设施还主要依靠人工进行直接护理。护理环境的系统化、信息化以及各种护理作业中的机器人技术急需研发。一般来说,日常护理工作可大致可分为6类:穿脱衣服、变更身体姿态、移动、饮食、卫生与洗浴、心理护理。可以实际应用在这些护理工作方面的机器人技术目前还处于空白。护理机器人的研究开发课题包括局部穿戴式助力用具用来减轻护理人员各种身体疲劳,以及利用穿戴式大脑活动检测和模式识别技术的脑机接口等技术。

例如图 16 所示,为了使被护理者能进行饮食,作者开发了利用诱发性脑电波来识别被护理者饮食意欲的自主饮食服务机器人技术<sup>[21,22]</sup>。该研究使用一定频率范围内的外界光源(5个红点)刺激被护理者诱发大脑视觉区产生相同频率的脑电波。利用简易的穿戴式无线脑电波测量传感器识别脑电波的相同频率,可以获取对象所注目的光源位置和摄取某个食物的意愿,进而控制机械臂抓取相应食物提供给饮食者。

近来,脑机接口技术科学研究的飞速发展。如何实现既廉价又能快速,准

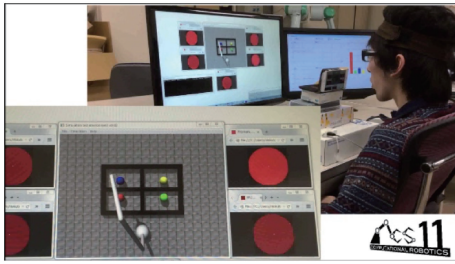


图 16 利用诱发性脑电波来识别被护理者饮食意欲的自主饮食服务机器人技术  
Fig. 16 Wearable EEG-based human intention detection and its application to human care-robot systems

确和安全地完成大脑与机器人之间的信息交互,意愿交互和情感交互将是未来的挑战课题。护理机器人的技术研发还必须顾及过度护理对老人带来的危害和副作用,需要科学理解护理的有效范围,掌握护理的本质。护理学是一门还处于起步阶段的新科学,它将促使人们更加科学认识老化,深刻理解健康,进而为机器人护理提供可靠的行为准则。

### 3.5 用于疾病预知和预防的健康机器人技术

微机械技术(MEMS)和具有高精度定位及低功耗功能的无线通信与传

感技术的发展带来了穿戴式健康信息采集和网络交互模式。至今为止,人们通常每年只接受一次健康体检来了解自身的健康状况。然而,随着穿戴式健康信息系统的不断完善,人们就可以采集到自己每时每刻的健康信息。举例来说,利用穿戴式的无线心电传感器,就能够获取时时刻刻的心电信息。通过对心电脉冲间隔的时间变化进行频率分析,不但可观测到心脏本身的健康状态,而且还可以得到自律神经中交感与副交感神经的活动信息,进而辨识出在日常生活中的疲劳,睡眠及身体运动强度等各种与健康有关的重要信息。这些信息仅靠医院的一次性心电图检验是无法得到的。从微观科学的角度来看,随着遗传因子快速排序技术的实际投入及分子生物学研究的进步,人们已经可以弄清很多疾病的发生原理,从而得以预知疾病发生的可能性。很早以来,人们就建立了对外界环境观察的天气预报系统,在日常生活中发挥了必不可少的作用。可是,人们却忽视了对自身健康的客观观察以致至今都没实现完整的健康预报系统。未来机器人技术与网络通讯技术以及大数据技术的有效结

合将会促进健康预报服务技术进入人们的日常生活,跨越家庭,社区护理设施与医院之间信息空间的鸿沟,实现健康信息与医疗信息系统的大统一。今天人们生病了还需要徒劳赶赴医院去排队挂号,苦苦等待医生的检验、诊断和治疗。现代社会把高端的医学技术、医学人才都集中在一个特殊的地点,也就是所谓的医院,被动式地为患者治病。然而,随着健康科学技术的发展与进步,未来社会将会一改被动,技术集中型的医疗健康社会体系,实现以预知,预防为主、主动的、社区分散型的健康服务社会<sup>[23-26]</sup>。

## 4 结论

科学技术的进步给人类带来了丰硕的物质文明和社会发展。未来50年人类将要面临历史上从未经历过的老年社会。作者相信,社会的老年化必将触发人类的聪明才智,唤醒个人以及社会整体的健康意识,由此为包括制造业和服务业在内的健康产业振兴与发展带来巨大的机遇。机器人技术体系的发展不但可以进一步缓解产业界劳动人口下降的困难,而且将步入街道、设施和家庭,为未来社会的健康、生活和文化提供强有力的科技支撑。健康文艺复兴时代已经到来。

### 参考文献(References)

- [1] 日本内閣府. 平成27年版高齢社会白書(全体版)[EB/OL]. 2015-06-12. [2015-10-20]. <http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2015/html/zenbun/index.html>.
- [2] World Health Organization. WHO global forum on innovations for ageing populations[R]. Kobe: WHO, 2013.
- [3] 羅志偉. 人に優しい介護支援用ロボットの設計と制御[J]. システム/制御/情報, 2007, 51(10): 458-463.
- [4] 羅志偉. 豊かな高齢社会を支える健康工学イノベーション[J]. システム/制御/情報, 2013, 57(1): 19-24.
- [5] Onishi M, Odashima T, Luo Z W, et al. An immersion-type 3D dynamic simulation environment for enveloping human interactive robot systems[J]. Systems and Computers in Japan, 2006, 37(10): 47-57.
- [6] 小田島正, 大西正輝, 田原健二, et al. 抱え上げ動作による移乗作業を目的とした介護支援ロボット研究用プラットフォーム"RI-MAN"の開発と評価[J]. 日本ロボット学会誌, 2007, 25(4): 554-565.
- [7] Mukai T, Onishi M, Odashima T, et al. Development of the tactile sensor system of a human-interactive robot "RI-MAN"[J]. Systems and Computers in Japan, 2008, 24(2): 505-512.
- [8] 大西正輝, 小田島正, 田原健二, et al. 人体を外側から扱うロボットの設計-人と接するロボットRI-MANの研究開発を通して得られた知見[J]. 日本ロボット学会誌, 2008, 26(3): 247-250.
- [9] 大西正輝, 小田島正, 田原健二, et al. 触覚情報を用いた全身マニピュレーションの実現[J]. 計測自動制御学会論文集, 2008, 44(1): 78-85.
- [10] Dong H W, Luo Z W, Nagano A. Adaptive attitude control for redundant time-varying complex model of human body in the nursing activity[J]. Journal of Robotics and Mechatronics, 2010, 22(4): 418-429.
- [11] Dong H, Luo Z W, 長野明紀. Application of biomechanical simulation in the nursing activity: Towards a new adaptive strategy of lifting up human body (特



- 集 筋骨格系のシミュレーション[J]. バイオメカニクス研究, 2010, 14(1): 52-60.
- [12] Kobayashi Y, Onishi M, Hosoe S, et al. Multi-tasking arbitration and behavior design for human interactive robots[J]. International Journal of Systems Science, 2012, 17 (1): 62-67.
- [13] 羅志偉. 友だちロボットがやってくる[M]. 東京: くもん出版社, 2009.
- [14] Mizoguchi T, Cao S, Luo Z W, et al. Biomechanical measurement and analysis of human two-step test[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics 2014. IEEE, 2014.
- [15] 小島麻木, 岡橋さやか, 種村留美, et al. 失語症者に対する Virtual Reality(VR)技術を用いた高次脳機能評価の試み[J]. 言語聴覚研究, 2012, 9(2): 80-88.
- [16] Okahashi S, Seki K, Nagano A, et al. A virtual shopping test for realistic assessment of cognitive function[J]. Journal of Neuroengineering and Rehabilitation, 2013, 10(1): 59.
- [17] Wong L K, Luo Z W, Kurusu N. Dynamic Simulation of Cervical Traction Therapy: Comparison between Sitting and Inclined Positions[C]//Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics 2014. IEEE, 2014.
- [18] Nishida K, Luo Z W, Nagano A. Development of a robot system for rehabilitation of upper limbs cooperative movement functions[C]//System Integration (SI), 2013 IEEE/SICE International Symposium on. IEEE, 2013: 511-515.
- [19] Dong H W, Luo Z W, Chen W. An adaptive treadmill-style locomotion interface and its application in 3D interactive virtual market system [J]. Intelligent Service Robotics, 2012, 5(3): 159-167.
- [20] 長野明紀, 羅志偉. 歩行・走行機能の評価と訓練のためのインテリジェント・トレッドミル[J]. バイオメカニクス研究, 2013, 17 (1): 62-67.
- [21] Okumura M, Luo Z W. On NIRS-based brain-robot interface[C]//Robotics and Biomimetics, 2007. ROBIO 2007. IEEE International Conference on. IEEE, 2007: 864-869.
- [22] Terada S, Luo Z W. Wearable EEG-based human intention detection and its application in human care-robot systems[C]//Society of Instrument and Control Engineers of Japan (SICE), 2015 54th Annual Conference of the. IEEE, 2015: 91-94.
- [23] 太田憲, 梅垣浩二, 室伏広治, et al. ハンマー投のダイナミクスに基づくサイバネティック・トレーニング[J]. バイオメカニクス研究, 2013, 17 (1): 368-377.
- [24] 羅志偉. 生活環境と情報認知[M]. 東京: NHK 出版社, 2015.
- [25] 羅志偉. クラウド時代のヘルスケアモニタリングシステム構築と応用[M]. 東京: シーエムシー出版社, 2012.
- [26] Luo Z W. Biomimetics - Biologically Inspired Technologies [M]. Taylor & Francis: CRC press, 2005.

## Systematic innovation of health robotics for aging society

### —Health renaissance century is coming

LUO Zhiwei

Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University, Kobe 657-8501, Japan

**Abstract** Following the industry revolution and modernization, we are now facing a serious aging society. Modern science and technology have greatly enriched our social life and changed our viewpoint of value. Aging society will emphasize the importance of health and social environment, and thus promote a huge market for health engineering and health service. In the aging society, robotics will not only make their efforts in manufacturing but also contribute to health, medical and social welfare directly, which in turn may change our life and even social economy and culture. The health renaissance century is coming. This paper first introduces the development of human care robot RI-MAN, then proposes to construct a systematic innovation platform for health robots and scientific evaluation system. The paper also presents a systematic structure as well as examples for health robotics and their applications.

**Keywords** health engineering; robotics; innovation platform; evaluation; systematics

作者简介: 罗志伟, 教授, 研究方向为智能机器人系统、健康工程学, 电子信箱: luo@gold.kobe-u.ac.jp

(责任编辑 刘志远)