• 医学信息技术 •

医疗物联网：慢性病智能生命体征监测*

曾红武 戴书球

（重庆医科大学医学信息学院 重庆 400016） （中煤科工集团重庆研究院有限公司 重庆 400039）

〔摘要〕 介绍慢性病体征监测现状及物联网在慢性病体征监测方面的作用，详细阐述物联网技术采集慢性病患者体征数据的方法、人工智能处理体征数据的算法，分析医疗数据安全问题并提出展望。

〔关键词〕 慢性病；医疗物联网；早期预警；人工智能

〔中图分类号〕R－058 〔文献标识码〕A 〔DOI〕10.3969/j.issn.1673－6036.2023.02.010

Medical Internet of Things: Intelligent Vital Sign Monitoring for Chronic Diseases *ZENG Hongwu, Institute of Medical Information, Chongqing Medical University, Chongqing 400016, China; DAI Shuqiu, China Coal Technology Engineering Group Chongqing Research Institute, Chongqing 400039, China*

〔**Abstract**〕 The paper introduces the current situation of monitoring signs of chronic diseases and the role of the internet of things (IoT) in monitoring signs of chronic diseases, elaborates the method of IoT technology in collecting physical sign data of patients with chronic diseases, the algorithm of artificial intelligence (AI) processing physical sign data, analyzes the security issues of medical data and puts forward the prospect.

〔**Keywords**〕 chronic disease; medical internet of things (IoT); early warning; artificial intelligence (AI)

1 引言

1.1 慢性病体征监测现状

慢性病全称是慢性非传染性疾病，是对一类病程长且病情迁延不愈、病因复杂疾病的总称。常见慢性病主要有心脑血管疾病、糖尿病、慢性呼吸系统疾病。中国老龄社会即将到来已成为不争的事实，慢性病将成为人类健康面临的主要挑战。智研咨询2020年发布的《中国国民健康与营养大数据报告》指出20%的中国人患有慢性病，患者年龄趋于年轻化，慢性病患者逐年增加使得医疗资源更加紧张。基于慢性病的特殊性，公认慢性病治疗最有效手段为高危人群筛选、生活方式干预、定时随访与监测[1]。目前慢性病防治的主要方式为患者在医院或家里检测并记录，针对

〔修回日期〕 2022－06－03

〔作者简介〕 曾红武，副教授，发表论文28篇；通信作者：戴书球，副研究员，发表论文13篇。

〔基金项目〕 重庆医科大学智慧医学研究重点项目“基于AI的临床思维发现系统研发”（项目编号：ZHYX202003）；中煤科工集团重庆研究院有限公司项目“面向智慧城市的物联网平台关键技术研究”（项目编号：2020ZDXM12）。

检测结果做相应处置。这种体征数据采集方式存在如下问题：一是无法掌握连续的体征数据，二是患者不了解自己的病情和病程，三是医护人员容易产生误判[2]。

1.2 物联网与慢性病体征监测

物联网的出现使上述问题得到解决成为可能。利用物联网可以实现体征数据自动、连续采集，有助于减轻患者或医疗机构的时间和经济成本。此外，可通过云存储体征数据，利用人工智能技术处理相关数据并构建疾病模型。这些模型可以预测患者的健康恶化风险、未来的医疗资源需求。本文以慢性病为研究对象，介绍医疗物联网的概念，通过物联网技术采集慢性病患者体征数据、混合云存储数据、人工智能技术处理数据并形成模型。该模型可预测患者疾病发展趋势及需求。不同慢性病需要监测不同的体征，为了文章的一致性，本文以糖尿病为例。

2 慢性病患者护理

2.1 以患者为中心的医疗护理

以患者为中心的医疗护理（patient - centered care，PCC）是评价护理工作的重要指标。从信息技术的角度考虑 PCC 是指任何患者和医疗机构共同关心的医疗信息共享[3]，这里的医疗信息尤指患者电子健康档案（electronic health records，EHR）。医疗护理关心的 EHR 内容包括以下 3 方面：患者体征数据，利用患者体征数据进行健康预测和治疗方案选择，体征数据与其他数据融合。

2.2 患者体征数据获取

慢性病住院患者体征数据采集的常规方法是护理人员到患者床旁测量，非住院患者则需要定期到医院进行测量。这些体征数据主要包括体温、血糖、血压、心率等指标，见表 1。

表 1 糖尿病住院患者体征监测

体征	定义	范围	影响因素
血压	血液在血管内流动时作用于单位面积血管壁的侧压力	90/60 ~ 135/85 mmHg	年龄、睡眠、运动量、心情等
体温	人体内部的温度	36.3℃ ~ 37.2℃	环境、紧张程度等
心率	每分钟心跳的次数	60 ~ 100 次/min	年龄、紧张程度等
血氧饱和度	血液中血氧的浓度	>94%	运动、环境等
血糖	血液中的葡萄糖含量	3.9 ~ 6.1 mmol/L	情绪、进食量等
尿量	排尿量	0.5 ml/（kg · h）	情绪、健康程度等
糖基化血红蛋白	葡萄糖与血红蛋白非酶产物	3.9 ~ 6.1 mmol/L	情绪、进食量等
胰岛素	机体内唯一降低血糖的激素	40 ~ 50U	情绪、进食量等
C 肽量	氨基酸的内源性多肽	1.0 ± 0.23 ng/ml	情绪、进食量等

除上述内容外还有一些开放性的体征监测值，如疼痛程度，反映患者主观意识程度，可以通过评估量表来评价，常见的有语言评价量表（verbal descriptions scale，VDS）、面部疼痛表情量表（faces pain scale - revised，FPS - R）、数字评价量表（numerical rating scale，NRS）、主诉疼痛分级法（verbal rating scales，VRS）、视觉模拟评分（visual analogue scale/score，VAS）等[4]。

2.3 健康预测和治疗方案选择

2.3.1 国外评估方法 护理慢性病住院患者最重要的工作是定期测量体征。当体征数据出现异常时，患者的健康风险会增加。体征数据可用于慢性病分级策略系统与健康预测。这些策略系统可触发

医疗机构对患者采取合理的措施。以 2 型糖尿病为例，国外已有简易查检表、风险评分模型等评估方法。风险评分模型有芬兰风险评分（Finnish risk score）、丹麦糖尿病风险评分（Danish diabetes risk score）、剑桥风险评分（Cambridge risk score）、健康和营养检查调查（third national health and nutrition examination survey，NHANESIII）、泰国风险评分（Thailand risk score）等。

2.3.2 国内评估方法 国内一些研究机构也在开展糖尿病风险评估工作，并且已经找到了符合国情的糖尿病风险评估方法。如罗森林、韩龙飞等提出的风险评估模型对于糖尿病患病、高危人群筛查都有很高的准确率。该方法主要采集家族遗传史、收缩压、舒张压、胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白、空腹血糖和身体质量指数（body mass index，BMI）等指标，通过训练得到风险评估模型对糖尿病患病风险进行评估，评估结果包括无风险、低风险、中风险和高风险[5]。医院使用的糖尿病风险评估策略，见表 2。

表 2 糖尿病风险评估策略

类型	方法	描述	特点
一个参数	测量最主要的体征	将测量值与设定阈值比较，满足条件时采取相应策略	方法简单，不允许分级策略
多个参数	测量多个体征	依据满足标准数的不同赋予不同的权值	方法复杂，允许分级策略
评分系统	糖尿病评分系统	依据评分系统要求测量体征值	方法简单，允许分级策略

其中，第 1 种策略中只监测一种体征，即判断某种疾病的主要指标，如 2 型糖尿病中的血糖。医护人员通过监测此体征指标来判断患者健康变化情况，并做出相应的风险预测和制定拟采取的医疗手段。第 2 种策略中需要监测多种体征，这一组体征中根据不同患者评估一个加权值，最终形成一个评分。此评分是对患者做出健康评估和必要医疗处理的依据。第 3 种策略是依据风险评估系统对患者评分，分数不同的患者其健康恶化程度不同。随着信息与通信技术（information and communication technology，ICT）的发展，评估系统已经融入电子病历当中，电子病历中体征数据和各时间节点的评分可多维度可视化呈现。早期评估系统没有融入人工智能技术，仅依靠体征值与大量临床经验设置的阈值来评估[6]，这种方式没有考虑患者的个体差异而导致大量误报。随着人工智能技术的发展，近年来慢性病评估系统融入人工智能技术，评估水平越来越高。

2.4 慢性病患者健康数据存储

2.4.1 采用 EHR 系统存储体征数据 以慢性病患者为中心进行护理的前提是了解患者当前病程，了解病程的依据是患者的连续体征数据[12]。医疗机构通常采用 EHR 系统存储体征数据。EHR 系统由系统提供商和相关领域的医学专家共同设计并实现，由医疗机构工作人员操作和管理。目前，EHR 系统可为特定关系人或机构提供查询功能。基于患者隐私保护、信息安全等多方面原因互通和整合多个 EHR 系统的资源仍是一个重要的挑战[7]。

2.4.2 基于混合云的 PHR 系统 慢性病患者、医务工作者及时了解当前和既往体征信息对于疾病的早期发现和风险评估尤其重要，同时这些数据对于慢性病研究者也很有意义，如通过这些数据构造慢性病预测模型。但是 EHR 系统的数据互操性差导致其在慢性病防治方面利用率较低。为了有效地利用这些数据，近年来有专家针对慢性病患者健康数据存储提出一种混合云存储模式。混合云存储模式找出一种适用于患者、医院、第 3 方健康组织机构的个人健康信息分享方式[8]。该模式通过一系列数据挖掘处理形成基于个人决策的个人健康系统（private health records，PHR）。实现了在患者、医院、第 3 方研究机构之间个人健康大数据的互操作、安全传输、隐私保护。近

年来随着移动互联网高速发展和可穿戴设备的广泛使用，慢性病患者可随时向 PHR 系统上传或补充体征信息，基于混合云的 PHR 系统在慢性病的管理、治疗、研究中具有积极意义。目前趋势是将传统 EHR 系统数据与 PHR 系统数据相结合，慢性病患者通过可穿戴设备将体征数据上传到 EHR 系统和 PHR 系统，EHR 系统和 PHR 系统依据患者的授权将相关数据上传到公有云和私有云，医务工作者、医疗机构、慢性病研究机构依据不同的授权访问相关数据，见图 1。

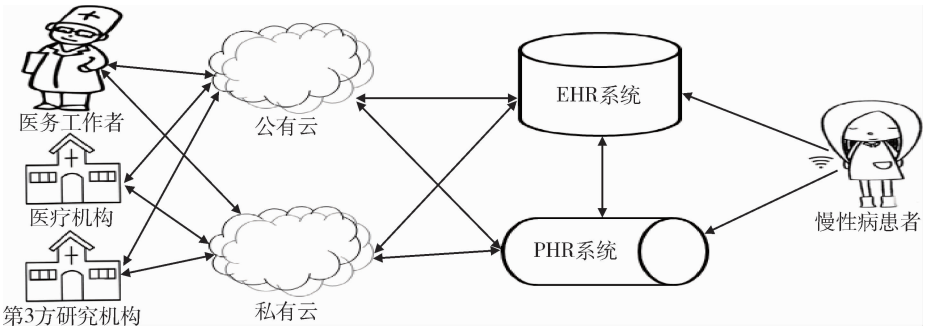

图 1 基于混合云的慢性病患者体征数据存储模式

3 医疗物联网

3.1 医疗物联网概念及功能

2005 年 11 月国际信息联盟（International Telecommunications Union，ITU）正式提出“物联网”概念为通过网络对所关注物体相关信息进行实时监控。物联网的核心是物体，这些物体可能具有标识、感知、通信能力[9]。医疗物联网是物联网技术应用于医学并解决某些医学问题的一种技术手段。物联网在慢性病领域的应用主要体现在慢性病管理上。通过各种方式连接慢性病患者、药物、医疗设备，使医疗服务者看到患者健康趋势并更有效地响应服务。慢性病患者通过医疗物联网还可以获得个性化服务。物联网技术在糖尿病中的应用体现在可穿戴设备的移动医疗技术应用，在心脑血管疾病中的应用主要体现在感知和采集心电变化信号，在慢性呼吸系统疾病方面主要可以实现医生、患者和医疗设备紧密联系，给患者提供高效、安全、方便及快捷的诊疗服务，使呼吸系统慢性疾病得到有效管理，见图 2。

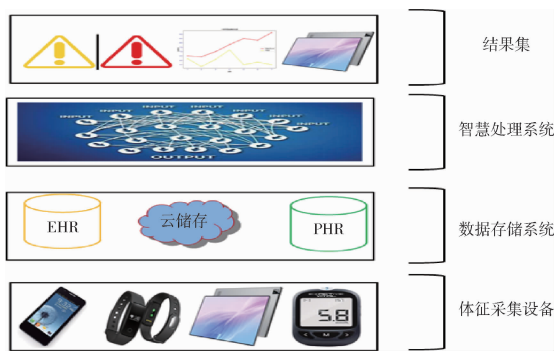

图 2 患者视角医疗物联网结构

3.2 医疗物联网应用情况

3.2.1 患者视角医疗物联网 在前文图 2 中，体征采集设备对应物联网的传感层，该层的目标是准确、稳定、实时、便捷地采集慢性病患者体征数据。数据存储系统可存储体征采集设备采集的数据，采集设备与数据存储系统可应用蓝牙、WiFi、Zigbee、通用分组无线业务（general packet radio service，GPRS）等多种技术通信。在慢性病数据存储系统中目前推荐使用混合云存储方式。可以实现以患者为主体的信息分享机制，满足患者、医院、

第 3 方机构对个人健康数据不同诉求，实现系统间数据的互操作性。同时云计算具有按需服务、资源处理可弹性伸缩等优点。

3.2.2 未来应用趋势 2000 年以来，人工智能技术进入新阶段，深度学习技术发展迅猛，机器通过海量数据自动总结学习知识，从而实现自身智能化。慢性病病程长、数据量丰富、维度宽，适合利用人工智能技术处理相关数据。近年来已出现利用人工智能技术处理慢性病数据并对相关疾病进行预测分析的模型，如阿里巴巴的“瑞宁助糖”等。智慧处理层利用相关技术处理数据，并根据用户需要形成结果集，以用户需要的形式呈现。物联网在医疗领域应用仍处于探索阶段，范围广泛，特别是在慢性病领域，在降低医疗机构和患者成本、提高患者生活质量、改善患者就医体验方面具有明显优势。

4 慢性病患者大数据智能处理算法

4.1 概述

大量研究证明，循证医学实践提高了患者医疗质量，但目前实施循证医学进行医疗决策实践尚未成功。美国国立卫生研究院报告指出，只有 20% 的临床医疗实践是循证的。人工智能时代的到来为改变这一现状带来曙光。

4.2 数据来源及数据驱动模型

4.2.1 数据来源 人工智能可以通过健康趋势识别和临床研究来发现已知和未知风险患者，使医疗机构发现有慢性病健康风险的患者并提供更优化的治疗方案。在医学信息学发展的背景下，海量的慢性病结构化和非结构化数据适合机器学习[10]。这些数据来自各大医疗机构的 EHR 平台、高通量测序平台、专业慢性病研究机构、物联网个人设备、社交媒体、专业医疗网站等。

4.2.2 数据驱动模型建立流程 一般分为 3 个步骤：数据采集与预处理，数据特征提取与学习，数据驱动模型建立。慢性病健康数据采集主要通过可穿戴设备实现，然后实现数据的标准化、归一化和过滤，这也是预处理数据的基本方法。数据特征提取是对预处理的数据进行特征化、标签化的过程。机器学习方法可以利用这些特征、标签来训练采集的数据与健康恶化风险之间的映射关系，经过训练的模型可以用作决策支持系统。

4.3 人工智能算法

4.3.1 人工智能概念 1956 年，达特茅斯会议提出了“人工智能”概念，科学家希望用计算机来构造具有人类智慧的机器。近年来，移动互联网和计算机算力的迅速发展促使机器学习出现，人工智能开始迅速发展。

4.3.2 机器学习思想 机器学习思想是利用算法分析数据、从数据中学习知识，利用学习到的知识对现实中事件做出决策和预测。与传统为解决某一问题设计的软件程序不同，是用大量数据来“训练”，并发现知识和规律。机器学习源于早期的人工智能领域，类似工业界的模式识别，算法包括决策树、聚类、分类、支持向量机等。根据学习方法的不同，机器学习算法可以分为监督学习（有标签）、无监督学习（无标签）、半监督学习、强化学习，这些方法可用于疾病的聚类、分类、策略等。例如，支持向量机已被用于住院患者慢性病风险评分。

4.3.3 深度神经网络 近年来深度神经网络（deep neural networks，DNN）成为人工智能领域研究的热点主题，由于深度神经网络在感知机上进行扩展从而增加了隐藏层，神经元可以有多个输出。同时扩展的激活函数提高了深度神经网络训练效果[11]。例如，最近出现利用循环神经网络（recurrent neural network，RNN）对 EHR 和 PHR 数据进行模式识别，取得较好效果。

4.3.4 深度学习 深度学习可实现现实中多种任务目标。深度学习的另一种方法卷积神经网络（convolutional neural networks，CNN）也被广泛运用，其可解决 DNN 参数数量的膨胀问题。CNN 大量运用于预防性医疗保健，较适合慢性病管理。使用大量的神经元覆盖原始数据，而不同层次数据又可以实现更高层次的抽象，最重要的是这些操作都不需要人工干预。CNN 方法对于处理慢性病的体征

数据特别有效。

5 医疗数据安全

5.1 个人健康数据保护需求日益增强

随着医疗护理全面信息化，基于慢性病的信息系统对数据收集、管理、应用能力不断加强，同时患者个人健康数据保护需求也日益增强。健康数据安全问题不仅涉及个人信息安全，也关系到健康大数据安全问题。随着新应用、新场景不断涌现，健康数据面临越来越多的安全风险。

5.2 数据管控风险

针对慢性病健康数据的复杂性和重要性，有研究者提出对健康数据实行生命周期、处理授权、使用审批制度。将使用和运维权限分离，采取最小化原则进行授权和许可。但随着“数字健康”产业不断发展，数据信息管控风险仍在不断上升。

5.3 外部攻击风险

健康数据、医疗数据具有极高价值，这些数据是企业和黑客关注的焦点。此外，数据丢失、业务中断会对慢性病患者生命安全产生威胁。基于上述原因从业者在遭遇外部攻击时往往会支付赎金以恢复数据，进一步导致健康数据易被攻击。因此，国内外学者提出从用户角度保护健康数据的方法，如利用脱敏、覆盖、加密存储、访问控制等方式解决外部攻击。

6 结语

本文介绍医疗物联网在慢性病智能生命体征监测中发挥的作用及所面临的挑战，特别是对如何实现患者的安全隐私保护进行阐述。慢性病体征数据采集后将自动存储到云端，医疗系统的互操作性仍然是无法逾越的障碍。目前，解决这一问题的方法是将这些数据转化成标准化的统一格式，例如采用 HL7、json、XML 等兼容格式。在传输体征数据的过程中仍然面临一些问题，因此系统间的语义互操作性及数据传输中的安全和高效性是下一步研究的重点之一。

医疗物联网应用于慢性病是一种新的愿景，即从反应性的治疗转变成主动发现的个性化治疗。这种愿景使医务人员能够更准确地判断和干预疾病，使患者更了解病程，同时也为慢性病管理提供更科学的解决方案。

参考文献

1 曾红武. 基于 zigbee 技术的健康监测仪嵌入式设计[J]. 物联网技术, 2018, 8 (8): 48 - 50.

2 易含笑, 杨珍, 张敏, 等. MEWS SCS 和 CRBP 评分对急诊抢救患者预后评估价值的比较研究[J]. 中国急救医学, 2019, 39 (10): 935 - 938.

3 文漪. 基于人口老龄化的社区慢病患者护理现状及管理对策[J]. 中华养生保健, 2020, 38 (5): 49 - 50.

4 何平, 方琴, 魏萍, 等. 利用信息系统对慢病患者进行远程护理管理的评价研究[J]. 西南国防医药, 2020, 30 (6): 555 - 557.

5 崔长钉, 颜琬华. 慢性病患者护理结局分类评价量表的研制及信效度检验[J]. 解放军护理杂志, 2016, 33 (8): 12 - 16.

6 黄彩妹, 陆柳雪, 韦素雨. 慢性病患者居家护理模式研究现状[J]. 左江医学, 2020, 48 (8): 634 - 637.

7 REN S Q, AUNG K M M. PPDS: privacy preserved data sharing scheme for cloud storage [J]. International journal of advancements in computing technology, 2012, 4 (16): 493 - 499.

8 WANG J, ZENG H W. Design and implementation of intelligent medical system for chronic diseases [J]. American journal of computer science and technology, 2020, 3 (4): 86 - 91.

9 BERGHOUT M, VAN EXEL J, LEENSVAART L, et al. Healthcare professionals' views on patient - centered care in hospitals [J]. BMC health services research, 2015, 15 (9): 1 - 13.

10 KONTIO E, LUNDGRÉN - LAINE H, KONTIO J, et al. Enterprise resource planning systems in healthcare: a qualitative review [J]. International journal of information systems in the service sector, 2014, 6 (2): 36 - 50.

11 LECUN Y, BENGIO Y, HINTON G. Deep learning [J]. Nature 2015, 521 (7553): 436 - 44.