·医学工程·

基于物联网技术的医疗设备精细化管理系统实践探索

边永娜

（同济大学附属上海市第四人民医院，上海 200080）

【摘要】 目的 针对大型公立医院医疗设备管理中存在的“资产监管盲区”“运维响应被动”“绩效评价维度单一”等痛点，探讨构建基于物联网（internet of things, IoT）技术的医疗设备精细化管理体系，以实现医疗设备全生命周期的智能化监测与科学决策。**方法** 设计“感知层—数据层—服务层—应用层—展现层”的5层架构。部署感知终端，采集设备的真实运行状态，并与医院信息系统深度融合，形成数据驱动的闭环管理。在此基础上，构建“全生命周期管理”与“运行监测与绩效评价”双线并行业务。**结果** 系统自2024年12月正式启用以来，成效显著。系统上线前（2024年1月—12月）与系统上线后（2025年1月—12月）对比分析显示：账物相符率从94.84%提升至100.00%（$P<0.001$）；大型设备饱和度由49.30%提升至52.33%（$P=0.043$）；维修及时性从75.20%跃升至96.96%（$P<0.001$）。**结论** 物联网技术赋能的医疗设备精细化管理系统，成功推动了医院设备管理由“被动经验型”向“主动数据型”的范式转变。该模式不仅提升了资产运营效率与合规性，更为智慧医院的建设提供了可复制、可推广的实践路径。

【关键词】 医疗设备；物联网；精细化管理；智慧医院；全生命周期

【中图分类号】 R197.32 **【文献标识码】** A **【DOI】** 10.11876/mimt202506012

Application of refined management system for medical equipment based on IoT

Bian Yongna

(Shanghai Fourth People's Hospital Affiliated to Tongji University, Shanghai 200080, China)

【Abstract】 Objective To address critical pain points in medical equipment management within large public hospitals, such as 'blind spots in asset supervision', 'passive maintenance response' and 'single-dimensional performance evaluation', this study explores the construction of an internet of things(IoT)-based refined management system. The goal is to achieve intelligent monitoring and scientific decision-making throughout the full lifecycle of medical equipment. **Methods** A five-layer architecture (perception, data, services, application, presentation) was implemented. Sensing terminals were deployed to collect the real-time operational status of equipment, which were then deeply integrated with hospital information systems to form a data-driven closed-loop management system. On this basis, two parallel business lines were constructed: 'Lifecycle Management' and 'Operational Monitoring & Performance Analysis'. **Results** Since the official launch of the system in December 2024, significant results have been achieved. The comparative analysis conducted before the system launched (from January to December 2024) and after the system launched (from January to December 2025) reveals that the consistency rate between asset accounts and physical stock increased from 94.84% to 100.00% ($P<0.001$). The operational saturation of large equipment increased from 49.30% to 52.33% ($P=0.043$). Furthermore, maintenance timeliness surged from 75.20% to 96.96% ($P<0.001$). **Conclusion** The IoT-enabled refined management system successfully facilitates a paradigm shift in hospital equipment management from a 'passive, experience-based' model to an 'active, data-driven' model. This approach not only enhances asset operational efficiency and compliance but also provides a reproducible and scalable practical pathway for the construction of smart hospitals.

【Key words】 Medical equipment; Internet of things(IoT); Refined management; Smart hospital; Full lifecycle

第一作者：边永娜，女，博士研究生，研究员，研究方向：医疗器械质量评价与卫生技术评估

随着公立医院高质量发展战略的深入推进，医疗设备作为医院核心资源和医疗服务的重要支撑，其管理水平直接关系到医疗服务质量、患者安全以及医院运行效率[1]。长期以来，医院在医疗设备管理中普遍面临着“重购置、轻监管”“重使用、轻绩效”的结构性难题[2]。虽然大多数医院已建立固定资产管理系统，但传统管理模式仍存在显著的滞后性与局限性：一是资产监管存在盲区，资产账面信息与临床实际使用状态脱节，导致“有账无物”或“闲置浪费”现象难以实时察觉；二是运维管理较为被动，故障处理与业务流转缺乏全过程的数字化留痕，导致维修响应时效难以量化，全生命周期管理过程不够透明；三是绩效评价维度单一，缺乏对单机效益、使用效率等多维度量化分析，难以支撑科学的购置决策。

面对上述管理痛点，单纯依靠增加人力投入已无法满足现代医院精细化运营的需求。2021年3月，国家卫生健康委发布了《医院智慧管理分级评估标准体系（试行）》，明确将设备的购置管理、使用运维管理、质量管理和效益分析纳入评估项目[3]。这标志着医疗设备管理必须从传统的“经验式管理”向“数据化、智能化管理”转型。

物联网（internet of things, IoT）技术凭借其全面感知、可靠传输与智能处理的特性，为解决上述难题提供了全新的技术路径[4]。与传统条码或二维码管理不同，物联网技术通过部署物联采集装置与智能网关，能够赋予设备“感知”能力，实时采集设备的运行状态，融合医院信息系统数据，实现物理世界与数字世界的映射。将物联网技术深度融入设备全生命周期管理，不仅能实现资产的运行跟踪，更能通过大数据分析挖掘设备运行规律，为资源的优化配置与精益化管理提供决策依据。

基于此，本研究以同济大学附属上海市第四人民医院（以下简称上海市第四人民医院）为例，探讨基于物联网技术的医疗设备精细化管理体系构建策略与成效。该体系旨在通过重塑“预算—采购—使用—运维—报废”的全链条管理流程，解决资产底数不清、运行效率不明、运维监管缺失等临床实际问题，探索一条可复制、可推广的智慧医院设备管理新路径。

1 需求分析

上海市第四人民医院是一家学科齐全、设备优良，集医疗、教学、科研为一体的大型综合性三级医院，随着医院医疗业务量的快速增长，传统的以静态台账为核心的“被动式”管理模式已难以适应精细化运营的要求。通过对临床科室、财务处、物资装备部的深度调研，本研究梳理出以下3个维度的核心管理需求。

（1）贯通“预算—采购—使用—运维—报废”业务闭环，实现国有资产全生命周期精细化监管。建立一条贯穿医疗设备全生命周期的数字化业务主线，实现多部门之间的信息互通与协同管理。纵向打通从预算项目建立、采购入库、验收交付、临床使用、维修保养到最终报废处置的每一个流转环节，确保设备在任一生命周期节点的物理状态与价值状态同步，通过全流程的规范化管理与数据共享，实现国有资产的透明化监管与保值增值[5]。

（2）融合物联网感知技术与多源业务数据，构建设备运行监测与绩效评价体系。利用物联网技术实现对设备运行状态的客观感知，并与医院业务系统（HIS、PACS等）深度融合，构建多维度的绩效评价体系。通过对数据的自动核算与趋势分析，为提升设备运营效率提供可信的数据支撑。

（3）挖掘全链条业务数据与绩效指标价值，支撑年度设备配置科学决策。利用全生命周期业务数据与绩效评价数据进行综合建模分析。在制定年度配置计划时，为管理决策提供依据，从而优化资源配置，确保医院资金投入的有效性与战略一致性。

2 系统设计与实现

基于前述管理需求，本研究确立了以“物联网感知为基础、数据融合为核心、精益管理为目标”的总体设计思路。

2.1 设计原则

为确保系统的实用性、先进性与可持续性，本研究遵循以下核心设计原则。①标准化原则：建立统一的设备编码与数据标准，支持多源异构数据融合。②智能化原则：引入物联网与AI算法实现数据的自动采集与智能分析，推动管理由“经验驱动”

向“数据驱动”转型。③可扩展原则：采用模块化设计，支持未来新设备类型的接入及功能迭代升级。④安全性原则：严格遵循医院网络安全等级保护要求，采用多层加密与权限管理，保障数据传输与访问安全。

2.2 系统总体架构

为实现物理世界设备运行与数字世界管理流程的精准映射，系统构建了“感知层—数据层—服务层—应用层—展现层”的5层技术架构[6]，见图1。

（1）感知层：实现设备运行数据的采集。负责医疗设备的实时监测与数据采集，针对医院内管理难度大、价值高的设备，采取差异化的采集策略，对于大型影像设备如CT、MRI、DSA等，采用非侵入式光学字符识别（optical character recognition, OCR）智能终端连接工作站视频信号，实时抓取并解析屏幕图像，智能识别设备的工作状态及服务对象信息，确保在不影响临床操作的前提下获取精准数据；针对生命支持类设备如呼吸机、监护仪等，通过厂家开放协议解析的方式进行采集，系统读取并解析设备输出的运行状态数据及关键生理参数，不仅能监测开机时长，还能深度分析设备的使用参数与运行变化。

（2）数据层：实现多源异构数据的融合与治理。旨在消除信息孤岛，实现数据汇聚、存储、清洗与标准化，为上层服务与应用提供准确、可信的数据基础。

（3）服务层：实现业务逻辑处理与算法模型支撑。负责对底层数据进行分析计算、业务逻辑处理与智能算法执行，为应用层提供核心服务能力。

（4）应用层：实现双线并行的业务管理闭环。面向管理者与临床用户，构建全生命周期管理业务线、运行监测与绩效评价业务线两大核心业务主线，以满足不同维度的管理需求。

（5）展现层：实现多终端协同的可视化交互。提供多终端交互与可视化管理，针对不同用户角色的使用场景提供不同的交互形态。



图1 基于物联网技术的医疗设备精细化管理架构

2.3 系统功能实现

基于上述架构的设计，系统在应用层构建了双线并行的业务功能体系。针对医院设备管理中长期存在的“重购置、轻监管”“重使用、轻绩效”的痛点，系统将功能划分为“全生命周期管理”与“运行监测与绩效评价”两大核心业务线。前者侧重于通过数字化流程实现资产的合规管控与物理形态追踪，后者侧重于通过数据挖掘实现资产的价值评估与运营决策。两者互为支撑，共同构成了精细化管理的完整闭环。

2.3.1 全生命周期管理业务流程的重塑与实现

本业务线旨在解决传统管理模式下各环节信息割裂、账实不符及监管滞后等问题。系统涵盖了预算管理、资产入库、资产管理、盘点管理、调配管理、处置报废及质量安全管理7大核心模块，通过流程重塑实现了从“需求产生”到“资产报废”的全程可追溯管理[7]，见图2。

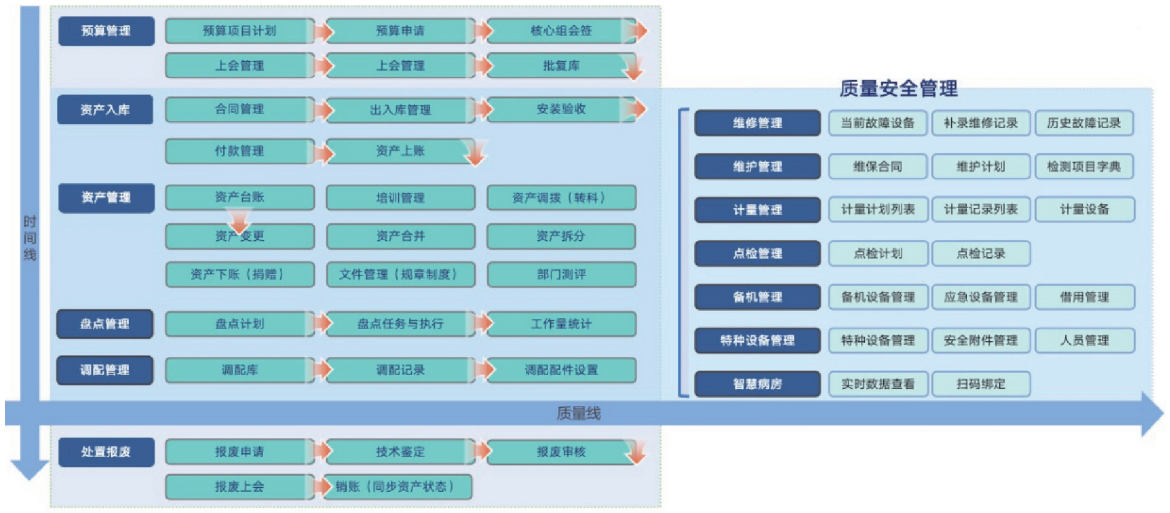


图 2 全生命周期管理业务系统功能分布

（1）源头管控：实现基于数据论证的预算与采购管理。针对以往设备购置预算缺乏客观依据、审批流程透明度低的问题，系统实现了预算管理的科学化转型。①预算管理包括预算项目计划创建、预算项目申请、核心组会签、预算项目审批、院会在线投票等功能，实现了预算申请的便捷提交、审批流程的透明化追踪以及预算执行的严格监控，确保每一笔预算都能精准投放、高效利用。②资产入库包括合同管理、库房管理、到货验收、计量首检、调试验收、付款管理，实现了设备从合同、入库、安装到处置的动态追踪。

（2）动态监管：实现资产台账与移动化盘点管理。针对资产底数不清、盘点效率低下的痛点，系统建立了标准化的“一物一码”电子档案。①资产管理实现设备台账、培训、资产转科、资产变更、资产拆分、资产合并、文件管理等资产管理事项的电子化。②盘点管理包括盘点计划、盘点任务、移动端扫码盘点、盘点明细记录、工作量统计，实现移动端电子化扫码盘点。

（3）资源盘活：实现规范化的调配与共享管理。为解决科室间设备忙闲不均的问题，系统建立了透明化的调配机制。调配管理包括调配库、移动端扫码借用、移动端扫码归还、调配记录及调配统计，有效整合全院医疗设备资源，实现了设备的快速调配与应急响应。在紧急情况下，医护人员可以通过移动端快速申请设备调配，大大提高了应急响应速度与效率。

（4）末端管理：实现合规化的处置报废管理。针对资产退出环节可能存在的国有资产流失风险，系统建立了严格的“处置报废”流程。处置报废管理包括处置列表、待技术鉴定、各级部门审批、上会管理、销账管理。设备报损报废是设备全生命周期管理的最后一个环节，可登记待处置设备的信息，上传技术鉴定文件，并能够实现在线审核全流程的电子化。

（5）质量保障：实现主动式的运维与质量安全管理。通过“质量安全管理”模块将设备管理的重心从被动维修转向全过程质控。质量安全管理包括维修管理、维护管理、巡检管理、点检管理、计量管理，确保设备使用过程中的安全与质量。

医疗设备全生命周期管理功能界面见图 3。

2.3.2 运行监测与绩效评价体系的构建与实现

绩效评价是精细化管理的关键环节，其核心在于将设备运行数据与效益指标相结合，为管理者提供科学决策依据。目前，系统已完成对全院重点设备的物联网接入工作，涵盖 CT、超声、内窥镜、生命支持类设备等关键类型设备。已接入设备占医院资产总值的 29.67%，涵盖了全院服务量大、单价高、社会影响显著的设备类型。通过部署物联网数据采集装置，系统实现了对设备运行状态、开机时间、工作时长和服务量等关键指标的实时监控。



图3 医疗设备全生命周期管理功能界面

（1）透明监管：实现设备运行状态的实时监控。系统利用部署在感知层的OCR智能采集终端与协议解析模块，建立了全院设备的“数字孪生”视图。系统的信息采集终端可以对医疗设备的使用状况进行监控并发送到数据接收终端，实时显示设备工作状态，并可以按全院、科室、单台查看设备使用状态（工作、待机、关机）。

（2）提质增效：实现基于真实负荷的使用效率分析。系统引入了更客观的效率评价指标[8]，记录设备每日的开机时间、关机时间、工作时长、工作次数等信息，全面分析设备使用情况，包括设备使用率分析、月度效率分析、周维度分析、每日工作分析及设备24小时工作分析。

（3）精益运营：实现单机全成本效益分析。通过多源数据融合，系统攻克了“单机效益算不清”的难题，建立了单台设备的投入产出模型。通过对设备使用过程进行全程实时分析，自动提取所有与设备有关的准确数据，核算出设备相关的服务量、业务收入、成本、投资收益率（年化）等关键指标。分析内容包括设备信息、统计期间设备检查人次、总收入、总成本、总结余、收支结余率、投资回收期、年投资回报率等，分为单机效益分析、单机效益对比、科室效益分析。设备绩效分析界面见图4。

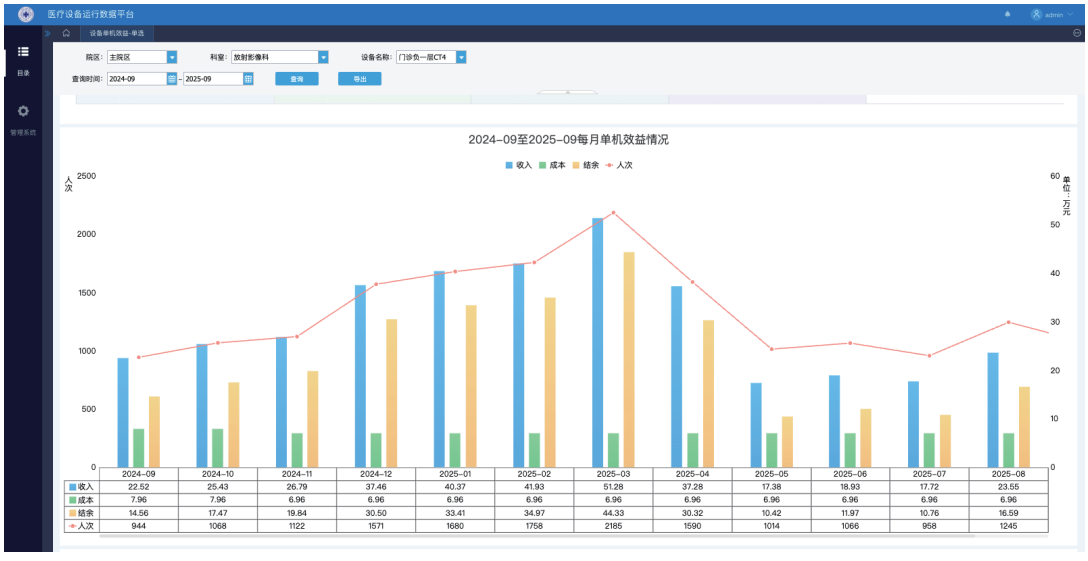


图4 设备绩效分析界面

（4）科学决策：实现数据可视化驾驶舱。为了让庞杂的数据直接服务于顶层决策，系统构建了数据可视化驾驶舱，在不同维度数据采集的基础上进行数据融合，将设备数据形象化、直观化、具体化，实现指标分析及决策场景落地，宏观展示设备运行情况、维修维护数据、效益数据、效率数据等，实现医疗设备管理指标可视化。见图 5。



图 5 数据可视化驾驶舱

3 应用成效

本研究以上海市第四人民医院为研究对象，以 2024 年 12 月系统正式启用为分界点，选取 2024 年 1 月—12 月为系统上线前时间段，2025 年 1 月—12 月为系统上线后时间段，对两个相同时间跨度内的设备业务管理数据进行回顾性对比分析。为评估精细化管理系统的综合效能，本研究选取了 3 个维度的核心指标：“账物相符率”反映资产管理的合规性与准确性，计算公式为：账物相符率 =（实物盘点相符的设备数量/账面在册设备总数）× 100%；“大型设备饱和度”反映大型设备服务时长的比重，计算公式为：大型设备饱和度 =（设备实际有效工作时长/设备开机时长）× 100%，其中有效工作时长由设备开机时长剔除待机时间后自动统计；“维修及时性”反映运维响应速度与服务能力，计算公式为：维修及时性 =（7 日内完成维修的工单数/同期维修工单总数）× 100%。采用 SPSS 统计软件进行数据分析，计数资料以百分比（%）表示，组间比较采用 χ^2 检验，以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

（1）夯实资产账实一致性，消除全院监管盲区。数据显示，系统上线后，账物相符率从 94.84% 提升至 100.00%，差异具有统计学意义（$\chi^2=314.236$，$P<0.001$）。系统实现了“一物一码”全流程闭环管理，使国有资产底数更加清晰。

（2）提升设备的运行效率，优化医疗资源配置。设备运行效率方面，大型设备饱和度由 49.30% 提升至 52.33%，差异具有统计学意义（$\chi^2=4.088$，$P=0.043$）。管理者依据客观数据，对利用率未达标的设备进行了动态排班，有效提升了单机产能。

（3）增强运维响应时效性，保障临床业务连续。维修及时性从 75.20% 跃升至 96.96%，差异具有统计学意义（$\chi^2=362.910$，$P<0.001$）。系统上线后，通过标准化的线上工单流转，实现了“故障早发现、工单速响应、配件快审批”，不仅大幅缩短了设备的非计划停机时间，更有力保障了临床诊疗业务的连续性[9]。

除上述可量化的统计指标外，系统的全生命周

期管理功能还带来了显著的管理范式变革与间接效益，主要体现在以下3个方面：①决策科学化，实现预算配置的辅助决策；②流程规范化，强化全生命周期合规管控；③管理主动化，推动运维模式的主动转型，这些为医院的高质量发展构筑了坚实的底座。

4 讨论

本研究立足于大型公立医院精细化运营的实际需求，针对传统设备管理中存在的“信息孤岛”“账实不符”及“绩效评价滞后”等核心痛点，构建了基于物联网技术的医疗设备精细化管理系统。系统通过物联数据采集与多源数据融合技术，成功搭建了物理世界与数字世界的映射桥梁。在应用层面，本研究实现了两大管理范式的转变：一是从“被动记录”向“主动感知”的转变，通过实时监测设备运行状态与工作负荷，管理者不再依赖滞后的人工报表，而是基于客观数据进行动态监管；二是从“经验管理”向“数据决策”的转变，通过贯通“预算—采购—使用—运维—报废”的全生命周期业务链条，实现了单机效益的精准核算与配置计划的科学制定。实践证明，该模式有效提升了资产运营效率，保障了国有资产的安全与增值。

与既往研究相比，本研究在以下方面具有创新性与深化。①数据感知的深度不同。传统研究多关注设备的资产状态，本研究利用物联技术能够精确区分工作、待机、关机等工作状态，并关联服务对象信息，从而为绩效评价提供了更为真实、细颗粒度的数据支撑。②业务融合的广度不同。以往研究往往将资产管理与运营管理割裂讨论。本研究构建了“纵横一体”的治理体系，纵向打通全生命周期流程，横向融合医工、信息、财务与临床数据，打破了部门壁垒，实现了真正的全院级精细化闭环管理。

尽管本系统在提升管理效率与决策科学性方面取得了初步成效，但在实际应用中仍存在一定的局限性，需在后续研究中持续改进。

（1）数据标准异构性问题。跨系统语义对齐需进一步完善，未来需进一步推动行业层面的物联网数据标准建设，降低异构数据的接入成本。

（2）模型算法的优化问题。对历史数据质量敏感，模型外推需持续校准。后续计划引入机器学习与深度学习算法，基于积累的海量运行数据训练更智能的预测模型。

（3）区域协同的扩展问题。目前尚在试点阶段，需处理权限与隐私合规问题。未来将探索跨院区的设备物联网平台建设，运用射频识别（radio frequency identification，RFID）、蓝牙等技术扩展物联范围[10]，建立区域内的设备共享与调配机制，进一步提升区域医疗资源的整体配置效率。

[参 考 文 献]

[1] 李小华, 陈晓民, 刘家红. 新一代信息技术与健康医疗融合应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2023.

[2] 国家卫生健康委办公厅. 关于印发医院智慧管理分级评估标准体系（试行）的通知[EB/OL]. (2021-03-15)[2025-12-03]. https://www.nhc.gov.cn/wjw/c100175/202103/981ae0011a0a4c498c0d81acd430c8d5.shtml.

[3] 伍兴思, 卓志. 医疗设备全生命周期信息化管理问题及优化对策[J]. 设备管理与维修, 2023(12): 33-35.

[4] 王嘉毅. 基于信息化管理平台的医疗设备全生命周期管理效果分析[J]. 现代仪器与医疗, 2022, 28(3): 1-3, 8.

[5] 袁欣, 张应. 基于物联网技术的MRI检查预约排程管理系统设计与应用[J]. 现代仪器与医疗, 2025, 31(5): 85-89, 108.

[6] 徐安琪, 范春. 智慧医院技术架构与应用场景体系建设研究[J]. 医学信息学杂志, 2025, 46(7): 74-79, 90.

[7] 高燕婕. 物联网与智慧医疗[M]. 北京: 电子工业出版社, 2022.

[8] 程静. 基于全生命周期管理理念的医疗设备信息管理系统[J]. 中国医疗器械杂志, 2024, 48(3): 319-322, 338.

[9] 王发军, 宋安娜, 王巍, 等. 医疗设备管理系统的构建与实践[J]. 中国医疗设备, 2024, 39(10): 86-91.

[10] 毛琳琳, 郑焜, 沈云明, 等. 基于RFID的医疗设备全生命周期资产跟踪管理系统[J]. 中国医疗设备, 2022, 37(1): 9-11, 32.