

地理信息系统在现代医学中的应用

马倩倩, 张静杭, 杨土保

中南大学湘雅公共卫生学院, 湖南 长沙 410078

摘要: 地理信息系统(GIS)是指用于输入、存储、维护、管理、检索、分析、综合和输出地理信息或以位置为基础的信息计算机系统。近年来, GIS 在现代医学领域的应用愈加广泛, 有效地促进了人们对疾病的认知、解释、预报与调控。本文就其在传染病、慢性非传染性疾病、妇幼卫生中、环境卫生中、食品安全、灾害医学救援、突发公共卫生事件、公共卫生政策管理等方面的应用进行综述。同时对 GIS 应用过程中存在的问题进行阐述, 并展望 GIS 未来的医学领域应用前景。

关键词: 现代医学; 地理信息系统(GIS); 空间流行病学

中图分类号: R-058 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2017)07-0892-06 DOI:10.3969/j.issn.1006-3110.2017.07.038

Application of geographic information system to modern medical science

MA Qian-qian, ZHANG Jing-hang, YANG Tu-bao

Xiangya School of Public Health, Central South University, Changsha, Hunan 410078, China

Corresponding author: YANG Tu-bao, E-mail: 1064960669@qq.com

Abstract: Geographic information system (GIS) is a computer system for capturing, storing, maintaining, managing, retrieving, analyzing, synthesizing and displaying data related to positions on earth's surface. GIS is used more and more widely in the field of modern medical science in recent years, and effectively enables people to more easily recognize, explain, forecast and regulate the diseases. The paper reviews the GIS application in the aspects of infectious diseases, chronic non-communicable diseases, maternal and child health, environmental health, food safety, disaster medical rescue, emergent public health, and public health policy and management, simultaneously illuminate the existing problems in the application of GIS and discuss the prospect of GIS in the field of modern medical science.

Key words: modern medical science; geographic information system; spatial epidemiology

大部分医学研究数据都与地理位置有关, 即具有空间属性和地理分布特征, 如居住地、医疗保健服务机构的位置、空气污染来源地等。对医学研究中的地理数据进行空间分析是十分必要的。地理信息系统(geographic information systems, GIS)是实现空间分析的重要手段之一。其已广泛应用于现代医学领域, 如肯尼亚疟疾监控系统、中国鼠疫医学地理信息系统^[1-3]、美国乳腺癌发病调查管理信息系统、中国重要自然疫源地地理信息系统^[4]、中国洪涝灾害卫生防疫应急响应信息管理系统^[5]、中国重大传染病疫情预警系统、中国生物恐怖袭击医学救援信息系统^[6]、中国梅毒疫情地理信息系统^[7]等。

1 地理信息系统(GIS)的基本概念

作者简介: 马倩倩(1990-), 女, 回族, 河南郑州人, 硕士研究生, 研究方向: 流行病与卫生统计学。

通信作者: 杨土保(1962-), 男, 博士, 教授, E-mail: 1064960669@qq.com。

美国联邦地理资料委员会(Federal Geodata Commission, FDGC)将 GIS 定义为“用于输入、存储、维护、管理、检索、分析、综合和输出地理信息或以位置为基础的信息的计算机系统”。

有史以来, 地图一直是存储和传送空间信息的主要来源。逐渐地, 地图被用来描述健康地理和疾病现象。Seaman 在 1798 年画了第一个“散点地图”来描述纽约的黄热病患者分布情况^[8]。1854 年, 伦敦内科医生约翰·斯诺(John Snow)利用空间分析证明了伦敦霍乱的暴发来源于百老大街(Broad Street)的污染水源^[9]。1963 年, 加拿大测量学家 Tomlinson RF 首次提出把常规地图变成数字化地图, 并存入计算机的想法, 形成了地理信息系统(GIS)的雏形。同时他建立了世界上第一个实用的地理信息系统, 即加拿大地理信息系统(CGIS)。

GIS 是以计算机科学为核心、地理学、测量学、地图学等学科综合起来的技术, 其核心功能是空间数据库的创建, 管理, 分析和地图可视化。GIS 空间分析结合几何分析、统计分析、数学建模、地理计算等多种方

法,对研究目标进行描述、分析、建模,进而为空间决策支持提供服务。

GIS 的构成包括人员、硬件、软件、数据和方法,其中数据的质量和数量最为重要。GIS 研究主要内容和步骤包括:①数据输入,通常采用数字化或扫描的方式将地理数据输入到 GIS,其中数字化存在的主要问题是低效率和高代价,扫描则要求将栅格数据转换成 GIS 数据库所要求的拓扑关系等形式;②数据存储:GIS 的数据以“层叠加”的形式储存,即根据地图的某些特征将其分为若干层,整张地图是所有层叠加的结果,有助于对用户的要求作出快速反应;③地理数据的操作和分析,即空间分析:包括矢量数据空间分析和栅格数据空间分析;④输出,研究结果可视化,GIS 提供多样化的输出形式。

2 GIS 在现代医学中的应用

2.1 GIS 在传染病中的应用 GIS 在传染病研究方面得到较广泛应用,应用的传染病包括:①虫媒传播的传染病(鼠疫、流行性乙型脑炎、肾综合征出血热等);②性传播性疾病(艾滋病、淋病等);③水传播性疾病(甲型病毒性肝炎、细菌性痢疾等);④经空气飞沫传播的疾病(流行性感冒等)。其中疟疾^[10-14]和血吸虫病^[15-17]是最常分析的传染病。Holakouie-Naieni 等^[18]使用 ArcGIS 软件进行空间建模,研究了皮肤利什曼病在伊朗各省的分布,证明了皮肤利什曼病在干旱和沙漠气候区及伊朗中部的地区高发。Delmelle 等^[19]针对 2010 年哥伦比亚卡利市暴发的登革热建立了社会经济和环境因素的地理加权回归空间模型,运用 ArcGIS 实现空间分布可视化,有效识别高风险地区。Salahi-Moghaddam 等^[20]对过去大约 50 年的长期气象和昆虫学数据进行回顾性分析,描述伊朗疟疾传播媒介的空间分布和变化趋势。更新了 7 种疟疾媒介按蚊分布图,发现一些病媒从伊朗干燥和阳光明媚的中部地区,往北部的山区和南部温暖和潮湿地区迁移。国内学者王浩等^[21]2015 年以 GIS 为基础,对山东省 HIV/AIDS 的空间聚集性进行分析,发现两个分别以济南和青岛为中心的艾滋病热点区域;对同性/异性传播途径进行空间相关性分析,发现同性与异性传播表现出正向空间相关性,提示艾滋病流行正从高危人群向一般人群扩散。

综合看来,GIS 最初应用于与地理位置高度相关的传染病,后拓展到与地理因素中度或低度相关的传染病。GIS 在传染病中的应用领域主要体现在:①认知:构建传染病空间分布图、对患者所在地点及其周边

的地理信息进行查询分析;②解释:分析传染病及其可能病原物质的空间聚集性,确定疾病的高发地区、高危人群,探索疾病的病因或危险因素,从而为制定传染病的控制策略及防止疫情进一步蔓延提供科学依据;③预报与调控:建立传染病预警模型,分析传染病的时空动态变化趋势,实现传染病的流行预测与早期预防。

2.2 GIS 在慢性非传染性疾病中的应用 慢性非传染性疾病(如心、脑血管疾病、癌症等)是多因素复杂疾病,受遗传、年龄、不良生活方式、气候、文化、人口密度、环境污染等多方面因素影响。慢性病及其影响因素在不同地区的分布存在差异。近些年来,GIS 技术的应用逐步深入并拓展到慢性病的研究中。主要集中于慢性非传染性疾病的空间分布特征、危险因素、空间分布的预测分析等方面的探索,以实现慢性病的监测。癌症和哮喘是最常分析的慢性非传染性疾病^[22]。Skarkova 等^[23]利用 GIS 技术发现哮喘患病率与多种空气污染物和土地农业使用率存在正相关,与多种树木的种植存在负相关,提示室外空气质量可能是影响哮喘患病率的关键因素。GIS 分析可以了解慢性肾脏疾病的地理分布,社会经济地位和种族差异之间的复杂相互作用,并且随着人口老龄化和肾脏疾病的流行率增加,为政策决定和资源分配提供信息^[24]。蒋玲玲^[25]通过全局和局部空间自相关分析,得到高血压、糖尿病分布热点区域;陆应昶等^[26]利用 GIS 技术建立江苏省脑卒中空间预测模型。

2.3 GIS 在妇幼卫生中的应用 近年来,有学者将 GIS 应用于妇幼卫生领域,为政府提供有关儿童死亡率、孕产妇死亡率和出生缺陷发生率的地域分布特征资料和预报妇幼卫生监测的动态变化,为政府制定妇幼卫生决策提供依据。Alemu 等^[27]结合全球定位系统(GPS)位置数据与儿童营养指数数据,进行埃塞俄比亚儿童营养不良的空间聚集性分析;Nelson 等^[28]运用 ArcGISVR 软件描述了 2003-2012 年患法洛氏四联症的新生儿在北卡罗来纳州的地理分布;Macquillan 等^[29]用 GIS 绘制卡拉马祖地区不良出生结局的可视化地图,利用空间分析进行干预区域定位与评估,以降低围产期发病率和死亡率。Aimone 等^[30]对 GIS 在研究全球儿童贫血和疟疾关系中的应用做了系统评价,确定了低收入和中等收入国家 0~5 岁儿童贫血和疟疾发病率的地理相关因素,为在疟疾流行地区安全实施贫血控制方案提供关键证据。代礼等^[31]于 2003 年提出了构建中国妇幼卫生监测地理信息系统。梁静等^[32]利用 GIS 技术分析深圳市福田区 2011-2015 年手足口病检测和疫情数据,结果显示该区手足口病以

5 岁以下男童为主,具有夏秋季高发、在流动人口密集的老旧城中村聚集的特点。

2.4 GIS 在环境卫生中的应用 在环境卫生中,当地区的环境风险因素的信息不完整或者不准确时,GIS 是描述暴露特征、改进分析质量、提高结果可靠性的有力工具。有学者发现基于 GIS 的环境风险因素暴露评估与问卷调查所得的自报风险因素结果有着较高一致性^[33]。Mcgrory 等^[34]利用 GIS 空间插值技术,进行地下水中毒的空间自相关分析和热点区域分析,确定了爱尔兰地区砷的空间分布。在环境因素暴露与健康的关系方面,Aguilera 等^[35]利用 GIS 对母亲怀孕期间暴露于汽车尾气 NO₂ 与新生儿体重之间的关联进行了分析,强调了汽车尾气污染物的生殖健康的负面作用。Mahara 等^[36]运用 GIS 和空间回归模型探讨了 2013–2014 年北京地区环境因素与猩红热发生的关系,发现气象以及空气污染因素可能会增加猩红热的发病率。吴库生^[37]利用 GIS 建立广东省食管癌死亡率数据库,将其与广东省电子地图连接,发现食道癌的死亡率与气候因素、植被指数及海拔高度有关。

综上,GIS 应用于环境卫生,可绘制空气污染分布图、疾病分布图、环境化学元素分布图等;探索生物地球化学性疾病、环境污染性疾病的发生率及其与当地自然社会因素之间的关联等。

2.5 GIS 在食品安全中的应用 我国食品安全所面临的问题主要是疫情疫病传播、致病菌污染造成的食源性疾病,养殖业滥用药物、环境污染引起的食品化学性污染等^[38]。在食品安全领域引入 GIS,可实现:①认知:饮用水的水源检测及其环境保护、营养状况的地区分布、食品产地环境污染的地理格局分析;②解释:饮用水水质与健康关联性、食源性疾病的聚集性;③预报:饮用水水质监测及安全风险评估、预测预警;④调控:突发水污染事件应急处置、突发食品事件追溯与应急指挥、食品安全监管与科学决策。Alarcon 等^[39]使用 GIS 空间方法将水源与家庭储水配对,进行饮用水的水源检测,发现 60% 家庭用水的粪大肠菌浓度高于水源,而水质恶化的家庭腹泻的风险更大;谢正苗等^[40]以杭州市 4 个蔬菜基地为例,测定了土壤中的重金属含量进行测定分析,应用 GIS 的 Kriging 插值法分析了蔬菜基地土壤–蔬菜 Pb、Zn、Cu 含量的空间分布,发现蔬菜基地土壤中重金属含量超过自然背景值,但仍未超过国家土壤重金属环境质量标准。该法对于资源不足和水质监测能力有限的发展中国家是十分有意义的。王晓莉等^[41]分析了 2007–2013 年中国各省、自治区、直辖市与食源性事件和突发环境污染情况

的空间分布格局和两者交互情况。肖泽云等^[42]构建了广西南宁市邕江河段水污染预警系统。结果表明,该系统集数据管理、基础信息查询、水质评价和预测及结果可视化展示等功能于一体。

2.6 GIS 在灾害医学救援中的应用 GIS 在地震、反恐、水灾等各类灾害医学救援中,可以为指挥者提供决策支持,有效提高救援效率。通过 GIS 确认灾情,获取灾害地区人文地理信息与灾害史、伤病史等医学情报,在救援单位进驻前,及时提供防病防疫信息,创伤的地域、救治地点信息。在救援过程中提供实时动态信息(物资消耗情况、资源需求量等)。GIS 空间分析能够对核生化污染区、传染病、流行病和有害动物区,以及需要检查和控制地区进行可视化展示,识别伤病员和物资运送最佳路线。对相应的应急处理进行仿真计算,评估灾时疫情和灾区的应急反应资源和能力,改进应急处理预案。

2004 年,陈伟等^[5]提出构建洪涝灾害卫生防疫应急反应信息管理系统。2014 年,Zhang 等^[43]提出一种基于遥感(RS)和 GIS 的自动识别地震烈度的方法,快速、经济、高效地检索,提取与管理地震造成的损害信息。Taylor 等以 GIS 作为平台,预测城市洪水中的微生物暴露风险^[44],发现南部和东部伦敦的地区在洪水灾害后更容易受到微生物污染^[45]。Curtis 等^[46]结合 GIS 和地理空间技术(GT)估计震后潜在的患者数量,尤其是弱势儿童的数量。并确定社会弱势群体分布的热点区域。

2.7 GIS 在突发公共卫生事件中的应用 GIS 能够预存地区的人口构成、气候环境、水文地形地貌等信息,在突发公共卫生事件时,可以通过病例空间分布的可视化展示,为后续干预措施提供线索和依据。

宁波市江东区疾病预防控制中心于 2004 年研究开发了突发公共卫生事件综合管理信息系统,系统包括五个模块:资料库管理、基础信息、传染病管理、预警管理和现场处置,在突发公共卫生事件发生时,通过 GIS 实现疫情定位、疫情变化趋势分析及专题图制作,从而提高应急处理效率^[47]。马卫东等^[48]提出发挥 GIS 的特点,为核事故医学应急服务,将有助于合理分配应急资源,使应急响应决策更科学、快速、有效。王海波^[49]分析了居家老人突发疾病的监测与突发事故应急辅助决策问题,提出基于 GIS 与遗传算法的老年人突发疾病应急快速送医模型,提高老年人日益突发疾病的诊断效率和预警时效。

2.8 GIS 在公共卫生政策管理中的应用 GIS 已被广泛用于公共卫生管理和医疗服务规划^[50],主要集中

于:①医疗服务可及性及需求分析;②卫生资源配置的公平性分析。Dos 等^[51]通过 GIS 提取健康设施的位置、人口、海拔等数据,衡量莫桑比克现有医疗保健中心的地理可达性,并估计莫桑比克卫生网络服务的覆盖人数,发现大多数莫桑比克人在步行情况下位于卫生服务资源分布不足的地区。Nelson 等^[28]预估了每个病例到达最近的先天性心脏医疗中心所需的平均驾驶时间,通过 GIS 建模进行区域规划,极大地缩短了患者到达医疗服务中心的时间。熊雪晨等^[52]收集 2013 年上海市人口数据、医疗机构数据、行政区划数据、道路网络分布数据、土地分类利用数据,基于最近距离法测算了上海市医疗服务的地理可及性,对医疗机构布局均衡性进行了评价。Dulin 等^[53]用 GIS 了解社区卫生保健利用模式,以识别最需要初级保健的区域。Pas-salent 等^[54]通过地理信息系统绘制了康复医疗服务机构位置与康复需求的地理分布图,评估当前康复医疗服务供应和需求状况。Angier 等^[55]通过 52 个诊所的电子健康档案分析不同地区的保险覆盖率差异,因此推测出特定社区医疗保险推广的需要;随着移动技术的发展,移动 GIS(Mobile GIS)被用来加强健康信息系统的建设^[56]。2014 年埃博拉疫情期间通过移动电话呼叫的位置记录,量化西非人口样本移动的轨迹^[57],有效地可视化了病人来源区域分布。Kaufman 等^[58]根据加利福尼亚医疗保健需求,为远程医疗(telemedicine)服务分配提供指导。移动医疗技术(m-health)可以改善偏远地区人群获得医疗服务的机会和降低医疗成本,为低中等收入国家带来积极影响。Larocca 等^[59]通过 GIS 比较移动网络数据的空间覆盖和疟疾的空间分布,评估移动医疗技术作为乌干达抗疟疾战略的可行性,并识别引入移动医疗后获得效益最大的地区。

卫生资源应根据卫生需求的紧迫程度以及产出效益进行分配。利用 GIS 可快速识别最需要增加服务机会或特定干预的地域,有针对性地提供卫生政策管理决策,合理配置医疗服务资源,促进医疗服务可及性,以及评估旨在改善卫生服务的干预措施效果。

2.9 其他 GIS 在人群长寿、交通伤害、疾病干预措施和效应的评价等方面尝试应用,也取得了良好成果。Wang 等^[60]创建了中国大陆居民 1990-2010 年的寿命空间分布图,自然地理因素(温度、地貌、干/湿气候)的区域分布图,由 ArcGIS 10 计算 Moran 指数(Moran's I)和 Local Moran 指数(Local Moran's I)。其强调中国高寿命地区和低寿命地区都显示空间分布的不均匀性和随时间的相对不变性,提示长期环境因

素可能对人类寿命有重要影响。Shaikh^[61]利用 GIS 绘制了过去两个星期内巴基斯坦地区患病或受伤及健康咨询的可视化地图,了解了健康疾病负担的空间模式。

3 展 望

GIS 技术在现代医学领域得到了广泛应用,显示了良好的发展态势。

传统 GIS 中的数据可分为空间数据和属性数据,局限于静态区域数据。基于 GIS 空间分析的发展已向时空分析领域拓展,即时空 GIS。其增加对时间性质的表达、分析能力,提供历史分析与趋势分析的功能;然时空 GIS 在理论和实践等方面的研究有待进一步完善。

当前研究倾向于依靠 GIS 之外的工具进行空间统计分析,考虑可能由于部分 GIS 软件昂贵且复杂。一方面,需提高医学从业人员空间分析和可视化的技能;另一方面,期待开发适合当地公共卫生部门人员和医学研究者的空间统计工具。另外,可以考虑使用免费 GIS 软件,例如 WHO 制定的 HealthMapper、泛美卫生组织(PAHO)开发的 SIGEpi、美国 CDC 开发的 Epi Info/Epi Map 与数字平台(如 Google MapsTM 和 Google EarthTM),以及移动应用相结合,应用于实时监测,将具有巨大的潜力。

随着医学从业者对 GIS 技术使用的增加,区域化空间数据共享与合作的需求必然增加。若制定统一的 GIS 数据标准,有利于完善的空间医学信息库的建立,数据共享及数据质量的提升,同时也会推动大数据时代的发展。大数据的主要进展与机器学习建模方法有关,但在空间和时空数据的流行病学分析领域,大数据相关技术迄今为止影响有限^[62]。医学大数据的空间性、时间性、变化性、大量性、多样性、复杂性等性质,为未来 GIS 分析带来了挑战。

完善的空间医学信息库建立,畅通的数据共享交换平台,以及 GIS 和数据收集技术(低成本的 GPS、移动技术、遥感 RS 等)相互渗透融合,都将进一步推动 GIS 在医学领域的应用。

参考文献

- [1] 梁坤,杨英中,王成祥,等. 地理信息系统在乌鲁木齐南山鼠疫监测中的建立和应用[J]. 疾病预防控制中心通报,2014,29(2):61-63.
- [2] 邓秋云,唐咸艳,梁江明,等. 广西鼠疫地理信息系统的建立与应用[J]. 中国热带医学,2009,9(4):745-746.
- [3] 陈如桂,杨林生,王五一. GIS 在卫生与健康领域的应用探索-中国鼠疫医学地理信息系统的设计与建立[J]. 地理科学进展,1999,18(4):368-372.
- [4] 韩光红,张习坦,方立群,等. 我国重要自然疫源地地理信息系统的

- 建立[J]. 军事医学科学院院刊, 2004, 49(2): 123-125.
- [5] 陈伟, 柏立嘉, 曾光. 洪涝灾害卫生防疫应急响应信息管理系统的构建[J]. 中华流行病学杂志, 2004, 12(1): 26-29.
- [6] 徐池. 生物恐怖袭击医学救援信息系统的建立[D]. 北京: 中国人民解放军军事医学科学院, 2004.
- [7] 门佩璇. 我国梅毒疫情地理信息系统方法的建立与初步应用[D]. 北京: 北京协和医学院, 2014.
- [8] Barrett FA. Finke's 1792 map of human diseases; the first world disease map[J]. Soc Sci Med, 2000, 50(7-8): 915-921.
- [9] Parkes EA. Mode of communication of cholera[J]. Int J Epidemiol, 2013, 42(6): 1543-1552.
- [10] Saxena R, Nagpal BN, Srivastava A, et al. Application of spatial technology in malaria research & control; some new insights[J]. Indian J Med Res, 2009, 130(2): 125-132.
- [11] 曾晓露. 海南地区疟疾疫情分布特征及环境影响因素研究[D]. 重庆: 第三军医大学, 2015.
- [12] 曾晓露, 叶诗洋, 徐聪, 等. 基于遥感与地理信息的海南地区疟疾疫情相关性研究[J]. 第三军医大学学报, 2015, 17(8): 821-826.
- [13] 闫润泽, 周水森, 夏志贵, 等. 我国疟疾传播时空分布特征分析[J]. 中国病原生物学杂志, 2014, 27(3): 198-202.
- [14] 王海防, 王怀位, 孔祥礼, 等. 基于 GPS 和 Google Earth 的疟疾卫星影像地图数据库的建立[J]. 中国媒介生物学及控制杂志, 2014, 30(3): 239-242.
- [15] 陈艳艳. 湖北省血吸虫病空间流行特征及预测分析[D]. 武汉: 华中科技大学, 2014.
- [16] 汪为春, 詹飏, 朱应富. 应用谷歌地球建立血吸虫病地理信息系统[J]. 热带病与寄生虫学, 2013, 42(4): 190-192.
- [17] 周晓农, 孙乐平, 姜庆五, 等. 全国血吸虫病流行状况的地理信息系统空间分析[J]. 中华流行病学杂志, 2000, 20(1): 21-23.
- [18] Holakouie-Naieni K, Mostafavi E, Bolorani AD, et al. Reprint of "spatial modeling of cutaneous leishmaniasis in Iran from 1983 to 2013"[J]. Acta Trop, 2016.
- [19] Delmelle E, Hagenlocher M, Kienberger S, et al. A spatial model of socioeconomic and environmental determinants of dengue fever in Cali, Colombia[J]. Acta Trop, 2016, 164: 169-176.
- [20] Salahi-Moghaddam A, Khoshdel A, Dalaei H, et al. Spatial changes in the distribution of malaria vectors during the past 5 decades in Iran[J]. Acta Trop, 2016, 166: 45-53.
- [21] 王浩, 张娜, 薛付忠, 等. 山东省艾滋病病毒感染者及艾滋病患者空间流行特征[J]. 山东大学学报(医学版), 2015, 65(2): 81-86.
- [22] Lyseen AK, Nørh C, Sørensen EM, et al. A review and framework for categorizing current research and development in health related geographical information systems (GIS) studies[J]. Yearbook Med Inform, 2014, 9(1): 110-124.
- [23] Skarkova P, Kadlubiec R, Fischer M, et al. Refining of asthma prevalence spatial distribution and visualization of outdoor environment factors using GIS and its application for identification of mutual associations[J]. Cent Eur J Public Health, 2015, 23(3): 258-266.
- [24] Rodriguez RA, Hotchkiss JR, O'Hare AM. Geographic information systems and chronic kidney disease; racial disparities, rural residence and forecasting[J]. J Nephrol, 2013, 26(1): 3-15.
- [25] 蒋玲玲. 吉林省成人高血压与糖尿病的空间分布特点及影响因素分析[D]. 长春: 吉林大学, 2016.
- [26] 陆应昶, 赵金扣, 胡晓抒, 等. 江苏省脑卒中地理分布特征及其与区域危险因素的关系[J]. 中国慢性病预防与控制, 2005, 14(3): 103-107.
- [27] Alemu ZA, Ahmed AA, Yalew AW, et al. Non random distribution of child undernutrition in Ethiopia; spatial analysis from the 2011 Ethiopia demographic and health survey[J]. Int J Equity Health, 2016, 15(1): 198.
- [28] Nelson JS, Stebbins RC, Strassle PD, et al. Geographic distribution of live births with tetralogy of Fallot in North Carolina 2003 to 2012[J]. Birth Defects Res A Clin Mol Teratol, 2016, 106(11): 881-887.
- [29] Macquillan EL, Curtis AB, Baker KM, et al. Using GIS mapping to target public health interventions: examining birth outcomes across GIS techniques[J]. J Community Health, 2016.
- [30] Aimone AM, Perumal N, Cole DC. A systematic review of the application and utility of geographical information systems for exploring disease-disease relationships in paediatric global health research; the case of anaemia and malaria[J]. Int J Health Geogr, 2013, 12: 1.
- [31] 代礼, 李艳华, 吴艳乔, 等. 地理信息系统在妇幼卫生监测中的应用[J]. 中国妇幼保健, 2003, 18(1): 20-21.
- [32] 梁静, 林志萍, 肖丽. 深圳市福田区 2011—2015 年手足口病的流行特征分析[J]. 中国热带医学, 2016, 16(10): 1017-1020.
- [33] Cordioli M, Ranzi A, Freni Sterrantino A, et al. A comparison between self-reported and GIS-based proxies of residential exposure to environmental pollution in a case-control study on lung cancer[J]. Spatio-temporal Epidemiol, 2014, 9(1): 37-45.
- [34] McGrory ER, Brown C, Bargary N, et al. Arsenic contamination of drinking water in Ireland: a spatial analysis of occurrence and potential risk[J]. Sci Total Environ, 2016.
- [35] Aguilera I, Guxens M, Garcia-Esteban R, et al. Association between GIS-based exposure to urban air pollution during pregnancy and birth weight in the INMA Sabadell Cohort[J]. Environ Health Perspect, 2009, 117(8): 1322-1327.
- [36] Mahara G, Wang C, Yang K, et al. The association between environmental factors and scarlet fever incidence in Beijing region: using GIS and spatial regression models[J]. Int J Environ Res Public Health, 2016, 13(11).
- [37] 吴库生, 李克. 基于地理信息系统的广东省食管癌地理流行病学研究[J]. 汕头大学医学院学报, 2006, 23(4): 230-232.
- [38] 肖革新, 肖辉. 基于空间统计的食品安全风险现状与展望[J]. 中国食品卫生杂志, 2016, 28(4): 409-414.
- [39] Alarcon FT, Kulinkina AV, Mohan VR, et al. Quantifying tap-to-household water quality deterioration in urban communities in Vellore, India: the impact of spatial assumptions[J]. Int J Hyg Environ Health, 2017, 220(1): 29-36.
- [40] 谢正苗, 李静, 徐建明, 等. 杭州市郊蔬菜基地土壤和蔬菜中 Pb、Zn 和 Cu 含量的环境质量评价[J]. 环境科学, 2006, 31(4): 742-747.
- [41] 王晓莉, 李勇强, 李清光, 等. 中国环境污染与食品安全问题的时空聚集性研究——突发环境事件与食源性疾病的交互[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(12): 53-61.
- [42] 肖泽云, 莫创荣, 雷晓霞. 基于 GIS 平台的水污染预警系统研究与

- 应用[J]. 水电能源科学, 2011, 29(5): 139-141.
- [43] Zhang Q, Zhang Y, Yang X, et al. Automatic recognition of seismic intensity based on RS and GIS: a case study in Wenchuan Ms8.0 earthquake of China[J]. Scientific World J, 2014, 2014: 878149.
- [44] Taylor J, Lai KM, Davies M, et al. Flood management: prediction of microbial contamination in large-scale floods in urban environments [J]. Environ Int, 2011, 37(5): 1019-1029.
- [45] Taylor J, Biddulph P, Davies M, et al. Predicting the microbial exposure risks in urban floods using GIS, building simulation, and microbial models[J]. Environ Int, 2013, 51: 182-195.
- [46] Curtis JW, Curtis A, Upperman JS. Using a geographic information system (GIS) to assess pediatric surge potential after an earthquake [J]. Disaster Med Public Health Prep, 2012, 6(2): 163-169.
- [47] 白廷军, 水黎明, 孙灵英, 等. GIS 在突发公共卫生事件应急处理中的应用[J]. 海峡预防医学杂志, 2007, 13(2): 75-76.
- [48] 马卫东, 秦斌, 杨昌跃, 等. GIS 在核事故医学应急工作中的应用 [J]. 中国辐射卫生, 2011, 11(2): 231-232.
- [49] 王海波. 基于 GIS 的居家老人常患疾病监测与突发事件应急辅助决策研究[D]. 武汉: 武汉大学, 2014.
- [50] Masoodi M, Rahimzadeh M. Measuring access to urban health services using geographical information system (GIS): a case study of health service management in Bandar Abbas, Iran [J]. Int J Health Policy Manag, 2015, 4(7): 439-445.
- [51] Dos ALA, Cabral P. Geographic accessibility to primary healthcare centers in Mozambique[J]. Int J Equity Health, 2016, 15(1): 173.
- [52] 熊雪晨, 白鸽, 金超, 等. 基于最近距离法的医疗服务地理可及性可视化表达方法及实证研究[J]. 中国卫生资源, 2016, 19(4): 270-274.
- [53] Dulin MF, Ludden TM, Tapp H, et al. Using Geographic Information Systems (GIS) to understand a community's primary care needs[J]. J Am Board Fam Med, 2010, 23(1): 13-21.
- [54] Passalent L, Borsy E, Landry MD, et al. Geographic information systems (GIS): an emerging method to assess demand and provision for rehabilitation services [J]. Disabil Rehabil, 2013, 35(20): 1740-1749.
- [55] Angier H, Likumahuwa S, Finnegan S, et al. Using Geographic Information Systems (GIS) to identify communities in need of health insurance outreach: an OCHIN practice-based research network (PBRN) report[J]. J Am Board Fam Med, 2014, 27(6): 804-810.
- [56] Nhavoto JA, Grönlund Å. Mobile technologies and Geographic Information Systems to improve health care systems: a literature review[J]. JMIR mHealth and uHealth, 2014, 2(2): e21.
- [57] Wesolowski A, Buckee CO, Bengtsson L, et al. Commentary: containing the Ebola outbreak – the potential and challenge of mobile network data[J]. PLoS Currents, 2014, 6: 177e.
- [58] Kaufman T, Geraghty EM, Dullet N, et al. Geospatial information system analysis of healthcare need and telemedicine delivery in California [J]. Telemed J E Health, 2016.
- [59] Larocca A, Moro VR, Marconi M. Malaria diagnosis and mapping with m-Health and geographic information systems (GIS): evidence from Uganda[J]. Malar J, 2016, 15(1): 520.
- [60] Wang S, Luo K, Liu Y. Spatio-temporal distribution of human lifespan in China[J]. Sci Rep, 2015, 5: 13844.
- [61] Shaikh MA. Spatial distribution of being sick or injured in the past two weeks by district in Pakistan [J]. J Pak Med Assoc, 2016, 66(12): 1648-1651.
- [62] Pfeiffer DU, Stevens KB. Spatial and temporal epidemiological analysis in the Big Data era[J]. Prev Vet Med, 2015, 122(1-2): 213-220.

收稿日期: 2017-01-10

《实用预防医学》开通“优先数字出版”服务

2017 年 3 月,《实用预防医学》编辑部与“中国知网”签署了“期刊优先数字出版合作协议”。经编辑部定稿等待发表的稿件,经作者书面申请或同意,可以在中国知网上以数字出版方式先于印刷版出版。数字出版前对文稿的编校流程与印刷出版前相同。印刷版出版后,与印刷版完全相同的带有具体页码的电子版将自动替换原来没有具体页码的优先出版电子版。“优先数字出版”服务是解决出版时滞过长的一种方式,同时可以增加文稿被引机会。其他文献引用优先数字出版文献,可以著录优先数字出版时间、出版网址。如按印刷版格式著录,该文在“中国知网”收录出版后,“中国知网”将自动将其参考文献链接到对应的优先数字出版文献,从而保证文献引证的一致性。有优先数字出版需求的作者可与编辑部联系,电话 0731-84305941。编辑部将竭诚为您服务!

《实用预防医学》编辑部