

· 老年人感染防控专栏 ·

基于 RT-NISS 的医院感染预警系统算法构建

丁 凡^{1,2*}, 刘运喜², 严 彦³, 李广兴¹

(¹ 东北农业大学动物医学学院, 哈尔滨 150036; ² 解放军总医院感染管理与疾病控制科, 北京 100853; ³ 昆明医科大学人文学院, 昆明 650500)

【摘要】目的 基于医院感染实时监控系统(RT-NISS),应用大数据筛选构建医院感染预警算法。**方法** 采用大数据挖掘算法和多个数学模型设计一系列算法,通过对过程数据采集与分析,对比各影响因素的影响程度,赋予不同影响因素权重,对个体患者影响因素权重评分,设定预警区间,实现医院感染预警。**结果** 通过挖掘 RT-NISS 的“感染信息基础数据库”,设计算法筛选医院感染危险因素、对医院感染危险因素赋予权重,结合临床医院感染病例验证并调整权重,设定医院感染预警区间,初步实现医院感染预警。**结论** 基于 RT-NISS 的医院感染预警系统已初步完成框架设计,下一步将结合临床数据验证对比,不断提高预警准确度和精确度,在发生医院感染前预警,及时指导临床引起关注并采取预防措施,降低医院感染发生率。

【关键词】 医院感染实时监控系统;医院感染;预警;算法

【中图分类号】 R197.323

【文献标识码】 A

【DOI】 10.11915/j.issn.1671-5403.2016.09.152

Algorithm construction of a nosocomial infection early warning system based on RT-NISS

DING Fan^{1,2*}, LIU Yun-Xi², YAN Yan³, LI Guang-Xing¹

(¹ College of Animal Medicine, Northeast Agricultural University, Harbin 150036, China; ² Department of Infection Management & Disease Control, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China; ³ College of Humanities, Kunming Medical University, Kunming 650500, China)

【Abstract】Objective To construct the algorithm of a nosocomial infection early warning system (NIEWS) with application of Large Data Screening based on the real-time nosocomial infection surveillance system (RT-NISS). **Methods** Large Data Screening and Mathematical Model were adopted to design a series of algorithms. Through process data acquisition and analysis, the influences of various influencing factors were compared, and then given different weights. The influencing factors for individual patient were also given weights. Then the warning interval was set to implement the early warning of nosocomial infection. **Results** Through the data mining of the Infection Information Database from the RT-NISS, a series of algorithms were successfully designed, and the risk factors of nosocomial infection were screened out. Then the weights of these risk factors were verified and adjusted in combination with the cases of nosocomial infection from hospitals. The early warning interval was set and implemented for nosocomial infection. **Conclusion** The preliminary framework of the NIEWS based on RT-NISS system is designed and established. In the further study, we will verify and compare in combination with nosocomial infection data in order to improve the accuracy and precision of prediction, and implement the early warning before the infection, induce clinical concern and take preventive measures to reduce nosocomial infection rate.

【Key words】 real-time nosocomial infection surveillance system; nosocomial infection; early warning; algorithm

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (31370140, 31300758).

Corresponding author: DING Fan, E-mail: dingfanxmx@hotmail.com

医院感染实时监控系统(real-time nosocomial infection surveillance system, RT-NISS),首推由解放军总医院感染管理与疾病控制科开发的,基于医院信息系统(hospital information system, HIS)、实验室

信息系统(laboratory information system, LIS)和影像学(放射学)信息系统(radiology information system, RIS)等系统的 RT-NISS^[1]。该系统通过对医院医疗过程数据的挖掘,可实现临床感染控制监测、报告、

收稿日期: 2016-05-25; 修回日期: 2016-06-25

基金项目: 国家自然科学基金(31370140, 31300758)

通信作者: 丁 凡, E-mail: dingfanxmx@hotmail.com

干预并及时发现医院感染病例,并自动示警等全面综合性监测,迄今已在 200 余家军队医院和 400 余家地方医院使用。但 RT-NISS 还不能实现对未发生医院感染的病例及发生感染危险程度实施预警。本研究基于 RT-NISS,参考了众多医院感染控制及管理信息系统,如实时医院感染监控系统(real-time hospital infection monitoring system, RT-HIMS)^[2]、iHAUTISIS 系统^[3],以及国内^[4]国外^[5,6]一些学者分析医院感染的计算方法,结合自主研发的算法^[7,8],设计了医院感染预警系统(nosocomial infection early warning system, NIEWS)算法,采取筛选医院感染危险因素、对医院感染危险因素赋予权重、区分不同预警区间、对个体患者影响因素权重评分,按照得分结合预警区间予以预警,在医院感染发生前提前采取干预措施,以降低医院感染发生率。

1 现状与研究方法

1.1 医院感染预警的现状

RT-NISS 对临床感染的预警,主要是通过挖掘过程数据,实时监测到临床出现的医院感染病例,由系统自动上报感染控制科,该科医师结合临床实际情况予以分析及确认后,系统自动将确认结果以显著标明的方式反馈给临床医师,临床医师确认后,作为发生医院感染病例予以治疗。这一过程,存在标本送检时间相对于病情滞后、感染控制科医师确认时间、临床医师确认等延误环节,最终确认为医院感染病例后,可能感染已发生一段时间,此时采取及时的治疗措施,确实可有效控制感染,相对传统医院感染监测已有很大进步,医院感染发生监测的及时性、有效性、特异性、敏感性都显著提高,但对未发生医院感染的病例,还不能根据其具体病情、治疗措施、医院感染总体情况等进行感染危险因素及危险程度预警,这一功能尚待开发。

1.2 医院感染预警算法构建方法

医院感染预警算法弥补了上述不足,从数据来源、算法构建和程序设计方面来看,是可以实现的。数据来源方面,RT-NISS 提供的大量临床过程数据,通过设计算法对这些数据进行挖掘和筛选,可得出引起临床感染的危险因素;算法构建方面,参考时间序列分析^[9,10]、数学建模^[11]、大数据挖掘^[12]等算法构建方法,设计一系列算法,得出各危险因素权重值,依据权重值设定预警区间,实现医院感染预警;程序设计方面,杭州杏林信息科技有限公司是 RT-NISS 的设计方,有成熟的程序设计与研发经验,强大的软件开发团队,可胜任算法程序设计和自动

化实现,并整合至 RT-NISS 中。具体构建步骤为:筛选医院感染危险因素、赋予医院感染危险因素权重、验证并调整权重、设定医院感染预警区间 4 个步骤,实现医院感染预警。

1.2.1 筛选医院感染危险因素 将 RT-NISS 收集的某医院某几年所有患者病例按照未发生医院感染(A)、疑似医院感染(B)和已发生医院感染(C)分为 3 个群体。患者信息分 40 大类,如基本信息(性别、年龄、地区等)、疾病种类、既往病史、家族病史、住院科室、药物使用、实验室检查、手术情况、导管使用、住院时间、感染微生物种类等进行划分。结合临床参考范围划分不同区间,作为危险因素。设计相应算法统计 A、B、C 3 个群体出现频次,得出每个字段不同区间 A、B、C 3 个群体比例。

1.2.2 医院感染危险因素权重计算 将 A 群体作为对照组, B 群体作为参考组, C 群体作为实验组,对比其各危险因素出现频次变化。利用 A 群体和 B 群体对比筛选出不相关因素和轻微相关因素,设计相应算法予以排除;利用 B 群体剩下的因素和 C 群体因素对比,设计相应算法得出主要危险因素和次要危险因素,并按照出现频次和出现程度赋予不同权重。

1.2.3 临床医院感染病例验证 对计算所得不同区间各危险因素权重值,结合临床确认的医院感染病例予以验证,设计相应算法得出权重变化区间,根据所得变化区间分布特点,得出预警下限,预警区间及预警上限。

1.2.4 设定医院感染预警区间 将预警区间按照危险因素权重分布,分为预警下限、预警区间下界、预警区间上界、预警上限 4 个指标,从 4~1 级予以预警,4 级最低,1 级最高,不同预警级别采取不同防控措施。

2 结果

NIEWS 算法由筛选比对算法、权重计算算法、验证调整算法、预警区间设定算法 4 部分组成。

2.1 筛选比对算法分析结果

某医院某年住院患者(不含门诊急诊),按照未发生医院感染(A)、疑似医院感染(B)和已发生医院感染(C)划分。A、B、C 3 类人群患者信息分布不同, A 类人群约占全院住院患者 85%, B 类人群约占 10%, C 类人群约占 5%。危险因素筛选方面,以实验室检查为例,筛选发现,无创检查不属于危险因素,予以排除;有创检查中,抽血不属于危险因素,予以排除,骨髓穿刺、脏器活检属于弱危险因素,存在

个别感染情况,不具有代表性,予以排除。这一筛选结果可能与一些文献和医院报道情况不同,因数据来源于某医院,只代表某医院情况,一旦设定筛选对象,筛选对比算法可自动筛选危险因素,故各医院情况会存在不同,需根据筛选结果具体判断。其他筛选结果数据庞杂,不予赘述。

2.2 权重计算算法分析结果

以感染微生物种类为例,细菌感染权重最大,真菌次之,其他6大类微生物权重较小。细菌感染中,权重由大到小前5位分别为铜绿假单胞菌、大肠埃希菌、鲍氏不动杆菌、肺炎克雷伯菌、金黄色葡萄球菌,白色假丝酵母权重也较大,其他细菌次之。抗菌药物权重中,以三代头孢为例,权重由大到小前3位分别为头孢噻肟、头孢他啶、头孢曲松。以上举例为医院整体权重,同一因素在不同科室权重不同,存在明显的科室特性。

2.3 验证调整算法分析结果

筛选出危险因素并赋予权重后,以发生医院感染人员验证,将发生医院感染前数据按时间划分,每天按前期计算所得权重予以评分。从医院整体数据评分: >30 ,存在感染可能性; >50 ,感染可能性为60%; >60 ,感染可能性为75%; >70 ,感染可能性为90%; >80 ,所有病例均已发生医院感染。该评分在不同疾病、不同科室,均存在较大差异,算法可结合患者与科室综合信息评分,得出适应各个具体科室和不同疾病的评分与感染危险程度。

2.4 预警区间设定算法分析结果

依据上述结果,由算法自主演算预警区间。从医院整体数据看,评分30为预警下限,提示临床医师关注感染危险因素;评分40为预警区间下界,提示临床医师应检查近期治疗情况,排查感染危险因素,使用危险因素范围内治疗手段时做好预防;评分50为预警区间上界,提示临床医师应排查感染危险因素,谨慎使用危险因素范围内治疗手段;评分60为预警上限,提示临床医师极有可能发生医院感染,检查目前治疗情况,排查危险因素,停用危险因素范围内治疗手段。

3 讨论

3.1 医院感染危险因素的设定

按照传统思维,医院感染危险因素^[13]多依据临床检验标准值设定,如发热的诊断标准,有不同分级,每级有其上、下限,低于下限及高于上限为异常。然而在临床实践中,接近下限或上限的情况也较为多见。它们也具有参考价值,但在临床危险因素设

定中往往易被忽视,从临床大样本患者体温分布趋势也能看出这一规律,在这两个区间的患者数量众多,往往多于异常患者^[14],这是众多预警算法难以准确预警的计算误区。在设定医院感染危险因素区间时,应结合临床大样本数据分布和临床诊断标准设定危险因素界定范围,采用一些算法剔除冗余数据,得到对医院感染有影响的危险因素及其区间。

3.2 权重值的设定

以往研究中,危险因素权重值的设定,有根据经验设定、依据文献报道设定、临床小样本分析设定等。设定值主观性强,且为固定值。从大样本数据角度看,其代表性并不强,并不能灵敏地反映临床感染的危险因素,这也是这一领域研究迟迟未能突破的原因。本研究所得到的不同区间各危险因素权重值不是固定值,而是变化值,该值随数据采集内容(科室、病种、时间或多个因素)不同而自动演算^[15,16],并随临床新增病例增多而自动变化。如白细胞计数这个指标,在血液科、呼吸科和普通外科,其权重值并不相同,同一个指标按照不同疾病统计时其权重也不相同。这样的设计最终得到的,是适用于各个科室,甚至特定疾病的感染监测预警指标,这样的方式可极大地提高临床适用性、特异性、敏感性和准确性。危险因素权重的自动变化,均由算法自动演算,排除了人为设定的干扰。

3.3 临床医院感染病例验证

采取神经网络方法,对计算所得各危险因素权重值,以单个病例进行验证,设计算法实现验证结果反馈,自动调整各危险因素权重值,筛选出最符合临床感染预警权重值,方予以采纳。

3.4 医院感染预警区间的设定

不同行业的各类预警区间设定,共同点是预警区间为固定值。可医院感染的发生时效性强^[17]、特异性强^[18]、各危险因素相互作用^[19]产生综合效果的情况也各不相同^[20],固定的预警区间只能大致上对临床感染进行调控,其自主性和精确性较差。与本研究权重值设定一样,医院感染预警区间的设定也用浮动值,依据不同科室、不同病例、不同治疗等多种因素,得出的医院整体预警区间、科室预警区间、病种预警区间、抗菌药物使用预警区间,甚至具体到个体患者的预警区间,才是医院感染预警监控所需达到的目标。

综上所述,医院感染预警系统算法的设计,首次采用了模糊理论,浮动式自适应设定的方式设定了各危险因素筛查规则、各危险因素权重、预警区间界限。这一方式在未发生医院感染病例预警领域尚属

首创。根据数据来源自动调整的浮动计算方式对临床过程进行干预,是未来医院感染预警,以及临床过程数据处理领域新的发展方向,必将给临床过程的数字化干预带来深远影响。

【参考文献】

- [1] Suo JJ, Du MM, Xing YB, *et al.* Design and establishment of interactive platform on account of real-time nosocomial infection surveillance system [J]. Chin J Nosocomiol, 2011, 21 (20): 4293 - 4295. [索继江, 杜明梅, 邢玉斌, 等. 基于医院感染实时监控系统的交互平台设计与实现[J]. 中华医院感染学杂志, 2011, 21(20): 4293 - 4295.]
- [2] Ye J, Liu Q. Design and application of real-time hospital infection monitoring system [J]. China Med Devices, 2015, 30 (5): 94 - 95. [叶 俊, 刘 琴. 医院感染实时监控系统的设计与应用[J]. 中国医疗设备, 2015, 30(5): 94 - 95.]
- [3] Lo YS, Lee WS, Chen GB, *et al.* Improving the work efficiency of healthcare-associated infection surveillance using electronic medical records[J]. Comput Methods Programs Biomed, 2014, 117(2): 351 - 359.
- [4] Du MM, Xing YB, Suo JJ, *et al.* Real-time automatic hospital-wide surveillance of nosocomial infections and outbreaks in a large Chinese tertiary hospital[J]. BMC Med Inform Decis Mak, 2014, 14: 9 - 17.
- [5] Adlassnig KP, Berger A, Koller W, *et al.* Healthcare-associated infection surveillance and bedside alerts[J]. Stud Health Technol Inform, 2014, 198: 71 - 78.
- [6] Hautemaniere A, Florentin A, Hunter PR, *et al.* Screening for surgical nosocomial infections by crossing databases[J]. J Infect Public Health, 2013, 6(2): 89 - 97.
- [7] Ding F, Zarlenga DS, Qin C, *et al.* A novel algorithm to define infection tendencies in H1N1 cases in mainland China[J]. Infect Genet Evol, 2011, 11: 222 - 226.
- [8] Ding F, Zarlenga DS, Ren Y, *et al.* Use of the D-R model to define trends in the emergence of ceftazidime-resistant *Escherichia coli* in China[J]. PLoS One, 2011, 6(12): e27295.
- [9] Pan HY. Time Series Analysis with Applications in R [M]. Beijing: China Machine Press, 2011: 56 - 98. [潘红宇. 时间序列分析及应用 R 语言[M]. 北京: 机械工业出版社, 2011: 56 - 98.]
- [10] Hamilton JD. Time Series Analysis [M]. Beijing: China Renmin University Press, 2015: 214 - 268. [詹姆斯·D·汉密尔顿. 时间序列分析[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2015: 214 - 268.]
- [11] Giordano FR, Fox WP, Horton SB. Mathematical Modeling [M]. Beijing: China Machine Press, 2014: 79 - 125. [Giordano FR, Fox WP, Horton SB. 数学建模[M]. 北京: 机械工业出版社, 2014: 79 - 125.]
- [12] Zhu XD. Cloud Era of Streaming Data Mining Service Platform-Based on the Perspective of Meta Modeling [M]. Beijing: Science Press, 2015: 142 - 163. [朱小栋. 云时代的流式大数据挖掘服务平台: 基于元建模的视角[M]. 北京: 科学出版社, 2015: 142 - 163.]
- [13] Zahraei SM, Eshtrati B, Masoumi Asl H, *et al.* Epidemiology of four main nosocomial infections in Iran during March 2007 - March 2008 based on the findings of a routine surveillance system[J]. Arch Iran Med, 2012, 15(12): 764 - 766.
- [14] Cohen G, Hilario M, Sax H, *et al.* Learning from imbalanced data in surveillance of nosocomial infection[J]. Artif Intel Med, 2006, 37(1): 7 - 18.
- [15] Halpin H, Shortel SM, Milstein A, *et al.* Hospital adoption of automated surveillance technology and the implementation of infection prevention and control programs[J]. Am J Infect Control, 2011, 39(4): 270 - 276.
- [16] de Bruin JS, Adlassnig KP, Blacky A, *et al.* Effectiveness of an automated surveillance system for intensive care unit-acquired infections[J]. J Am Med Inform Assoc, 2013, 20 (2): 369 - 372.
- [17] Carnevale RJ, Talbot TR, Schaffner W, *et al.* Evaluating the utility of syndromic surveillance algorithms for screening to detect potentially clonal hospital infection outbreaks [J]. J Am Med Inform Assoc, 2011, 18(4): 466 - 472.
- [18] Greutelaers B, Wad M, Nachtnebel M, *et al.* Hospital surveillance during major outbreaks of community-acquired diseases. Pandemic Influenza Hospital Surveillance (PIKS) 2009/2010 and Surveillance of Bloody Diarrhea (SBD) 2011 [J]. Dtsch Med Wochenschr, 2013, 138(13): 632 - 637.
- [19] Freeman R, Moore LS, García Álvarez L, *et al.* Advances in electronic surveillance for healthcare associated infections in the 21st century: a systematic review [J]. J Hosp Infect, 2013, 84(2): 106 - 119.
- [20] Srigley JA, Lightfoot D, Fernie G, *et al.* Hand hygiene monitoring technology: protocol for a systematic review [J]. Syst Rev, 2013, 12(2): 101.

(编辑: 周宇红)