

DOI:10.3969/j.issn.1671-9638.2017.05.017

· 论 著 ·

## 传染病动力学模型在隔离预防轮状病毒医院感染中的应用

黄 璜,单旭征,龙云淑,许春琼

(成都大学附属医院,四川 成都 610081)

**[摘要]** **目的** 构建轮状病毒(RV)医院内传播及防控策略的传染病动力学模型。**方法** 应用传染病动力学的方法,构建不同隔离措施下的 RV SEIR 模型,评价隔离措施效果。**结果** 假设对所有患者进行隔离,在传播第 3 天采取隔离措施,则感染者在传播第 5 天为 4.3 例,在第 7 天达高峰(6.4 例),直至传播第 14 天,感染者人数降至 3.4 例。在传播第 2 天采取隔离措施,则感染者在传播第 6 天达 4.0 例,第 8 天感染者即降至 3.2 例。在传播第 1 天采取隔离措施,则感染者最多为 2.4 例,即不会发生医院感染暴发。早期隔离能有效阻止 RV 感染暴发,隔离时间越晚,感染人数越多,暴发持续时间越长。**结论** RV 医院感染暴发较易发生,早期发现,及时隔离 RV 患儿是防止医院感染暴发的有效措施。

**[关键词]** 轮状病毒; 医院感染; SEIR; 婴幼儿腹泻; 接触传播

**[中图分类号]** R725.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-9638(2017)05-0470-04

## Application of epidemic dynamics model in isolating hospital-acquired rotavirus infection

HUANG Huang, SHAN Xu-zheng, LONG Yun-shu, XU Chun-qiong (Affiliated Hospital of Chengdu University, Chengdu 610081, China)

**[Abstract]** **Objective** To establish an epidemic dynamics model of the transmission and prevention strategies of rotavirus infection in hospital. **Methods** Rotavirus SEIR model based on different isolation measures was constructed using epidemic dynamics method, the effectiveness of isolation measures was evaluated. **Results** Supposing that all patients were isolated, isolation measures were taken on the 3<sup>rd</sup> day of transmission, there were 4.3 cases of infection on the 5<sup>th</sup> day of transmission, peaked on the 7<sup>th</sup> day ( $n=6.4$ ), until the 14<sup>th</sup> day of transmission, the number of infected persons fell to 3.4 cases. If isolation measures were taken on the 2<sup>nd</sup> day of transmission, the infected persons reached 4.0 on the 6<sup>th</sup> day, and reduced to 3.2 cases on the 8<sup>th</sup> day. If isolation measures were taken on the 1<sup>st</sup> day of transmission, the infected persons reached 2.4 at most, healthcare-associated infection would not occur. Early isolation can effectively prevent the outbreak of rotavirus infection, the later the isolation, the more the infection occurs and the longer the outbreak lasts. **Conclusion** Rotavirus infection can easily break out in hospital, early discovery and early isolation of rotavirus infected child is the effective measure to avoid rotavirus infection outbreak in hospital.

**[Key words]** rotavirus; healthcare-associated infection; SEIR; infantile diarrhea; contact isolation

[Chin J Infect Control, 2017, 16(5): 470-473]

轮状病毒(rotavirus, RV)是婴幼儿重型腹泻的主要病原体,我国每年秋冬季节有 40%~60%的

婴幼儿重症腹泻由 RV 引起,估计每年可造成约 2 万 5 岁以下幼儿死亡<sup>[1]</sup>。研究<sup>[2-4]</sup>表明,我国住院

[收稿日期] 2016-06-06

[基金项目] 成都大学青年基金项目(2015XJZ32);金牛区科协资助项目

[作者简介] 黄璜(1990-),女(汉族),江西省丰城市人,医师,主要从事医院感染控制研究。

[通信作者] 黄璜 E-mail:342714654@qq.com

腹泻儿童 RV 阳性检出率为 25.9%~39.45%。由于 RV 具有较高的传染性,易感者仅需要 10 个病毒即可感染<sup>[5]</sup>,且主要通过接触传播,较易发生医院感染。为有效防止 RV 医院感染暴发,本研究首次通过传染病动力学模型模拟在不同时间采取隔离措施时 RV 医院传播过程,比较 RV 传播过程中不同时期采取隔离措施时,医院感染暴发的开始时间、持续时间及感染人数,为有效防止其医院感染暴发提供理论依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 模型简介

传染病动力学是对传染病进行理论性定量研究的一种重要方法<sup>[6]</sup>,其在已知的流行过程基础上建立能反映疾病动力学的数学模型,通过对模型的研究,了解疾病的发生发展过程及流行规律。由于 RV 感染具有潜伏期,本研究构建由易感者(S)、潜伏者(E)、感染者(I)、康复者(R)构成的 SEIR 模型。其中 S 为 t 时刻尚未染病但可能染病的人数,记为 S(t);E 为 t 时刻处于潜伏期的人数,记为 E(t);I 为 t 时刻已经染病且处于传染期的人数,记为 I(t);R 为 t 时刻已经从感染者中移出的人数,记为 R(t);若总人数 N 为常数则  $N(t) = S(t) + E(t) + I(t) + R(t)$ 。易感染者从感染到移出的过程见图 1。



图 1 SEIR 模型过程图

Figure 1 Flow chart of SEIR model

模型方程为:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = -\beta SI \\ \frac{dE}{dt} = \beta SI - \epsilon E \\ \frac{dI}{dt} = \epsilon E - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases}$$

$\beta = \beta_0 \times$  接触率  $C(N)$ ,称为有效接触率,表示一例感染者传染易感者的能力,其中  $\beta_0$  为人群全部为易感者时,一例感染者传染易感者的能力。 $\epsilon$  为潜伏期的倒数,表示潜伏者转变为感染者的比例。 $\gamma$  为传染期的倒数,表示感染者转变为康复者的比例。

1.2 模型的假设与参数设定 (1)医院住院患者较少,接触率与人口总数成正比,此时  $C(N) = KN$ ,  $\beta = K\beta_0$ ,疾病发生率不受总人口数影响。(2)每日新入院易感者恒定,记为  $\Lambda$ 。(3)每日出院率恒定,记为  $\mu$ 。(4)不考虑死亡患者。(5)疾病在医院自然传播时未采取任何措施。本研究采用 Matlab 软件构建模型,主要参数设置见表 1。

表 1 SEIR 模型主要参数设置

Table 1 The main parameters of SEIR model

参数	取值	来源
$\kappa$	0.02	假设病房中 RV 患者单位时间内接触总体的 2%
$\beta_0$	1.62	参考文献 <sup>[6]</sup>
$\epsilon$	1/3	参考文献 <sup>[7-8]</sup>
$\gamma$	1/7	参考文献 <sup>[7-8]</sup>

## 2 结果

### 2.1 医院自然传播

以综合医院儿科住院患儿为研究对象,则模型传播过程见图 2。

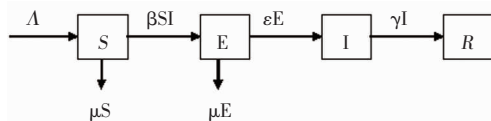


图 2 医院传播模型过程图

Figure 2 Flow chart of hospital transmission model

模型方程为:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = \Lambda - \beta SI - \mu S \\ \frac{dE}{dt} = \beta SI - \epsilon E - \mu E \\ \frac{dI}{dt} = \epsilon E - \gamma I \\ \frac{dR}{dt} = \gamma I \end{cases}$$

设平均每日在院患儿为 100 例,平均每日新入院患儿 20 例,根据某三甲综合医院两岁以下患儿比率为 64%,则初期医院易感者 S 为 64 例,每日新入院易感者  $\Lambda$  为 13 例,以某三甲综合医院儿科出院率为参考,设  $\mu$  为 0.2,仿真结果显示,医院初期进入 1 例 RV 腹泻患儿,如无任何防控措施,在传播第 4 天,感染者人数达 4.5 例,即引起医院感染暴发,此时感染人数不断增多,在传播第 15 天,感染者人数达 42.4 例。见图 3。

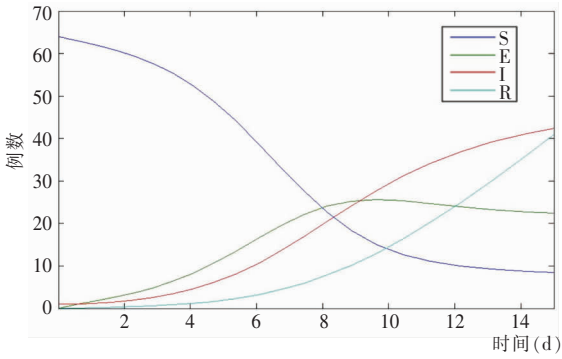


图 3 医院 RV 自然传播图

Figure 3 Diagram of natural transmission of rotavirus in hospital

2.2 采取隔离措施后医院传播 如对患者进行隔离,则模型传播过程见图 4。

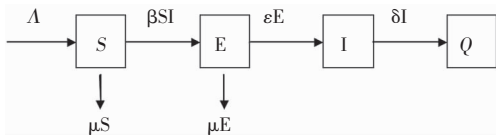


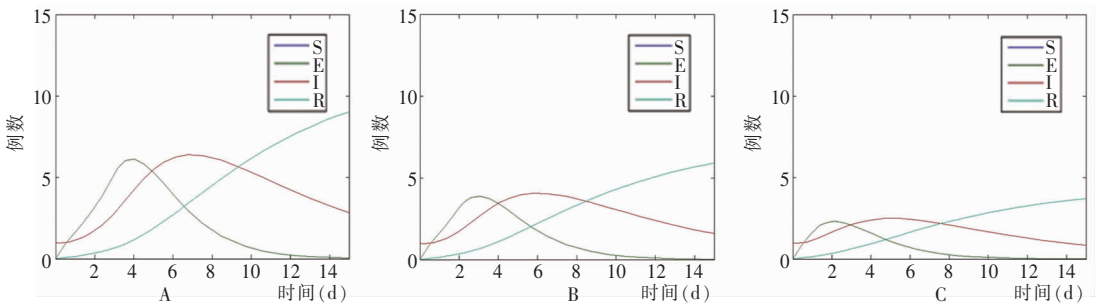
图 4 采取隔离措施后医院传播模型过程图

Figure 4 Flow chart of hospital transmission model after isolation measures were taken

模型方程为:

$$\begin{cases} \frac{dS}{dt} = \Lambda - \beta SI - \mu S \\ \frac{dE}{dt} = \beta SI - \epsilon E - \mu E \\ \frac{dI}{dt} = \epsilon E - \delta I \\ \frac{dQ}{dt} = \delta I \end{cases}$$

此时  $\beta$  随时间的变化而变化<sup>[9]</sup>,假设对所有患者进行隔离,则  $\delta = 1.0$ ,仿真结果显示,如在传播第 3 天采取隔离措施,则在传播第 5 天感染者为 4.3 例,在第 7 天达高峰(6.4 例),直至传播第 14 天,感染者人数降至 3.4 例。如在传播第 2 天采取隔离措施,则在传播第 6 天感染者达 4.0 例,第 8 天感染者即降至 3.2 例。如在传播第 1 天采取隔离措施则感染者最多为 2.4 例,即不会发生医院感染暴发。见图 5。



A: 传播第 3 天采取隔离措施; B: 传播第 2 天采取隔离措施; C: 传播第 1 天采取隔离措施

图 5 不同时间点采取隔离措施后 RV 医院传播图

Figure 5 Diagrams of rotavirus transmission in hospital after isolation measures were taken at different time points

### 3 讨论

目前,国内对 RV 医院感染的研究较少,回顾以往研究主要集中在临床分析及护理干预两方面。本研究应用 matlab 软件构建 RV 在综合医院内传播的动力学模型,结果显示当每日入院 20 例患者时,如不采取任何措施,1 例 RV 患者进入病房后,在传播第 4 天即可发生医院暴发,至传播第 8 天,感染人数即可达到 16.9 例。若将每日入院人数调整至

11 例,即每日入院易感者人数为 7 例时,在传播第 8.5 天,感染人数为 7.9 例,此时与尹丽等<sup>[10]</sup>报道的一起 7 d 内入院 45 例新生儿,发生 8 例 RV 医院感染的暴发事件传播过程基本一致。RV 传染性高,在病房中可通过被污染的医护人员的手、医疗设施、医疗器械、奶瓶等传播<sup>[11]</sup>,但现阶段 RV 疫苗在我国尚未普及,因此患者隔离及环境消毒成为防止 RV 传播的重要措施。本研究结果显示,在传播第 3 天采取隔离措施,医院感染暴发仍需持续 9 d,最高感染人数减少至 6.4 例;在传播第 2 天采取隔离

措施,医院感染暴发仅持续 2 d,最高感染人数为 4 例;如在传播第 1 天采取隔离措施,则不发生医院感染暴发,说明在本研究设定条件下,RV 患儿入院后 1 天内隔离,才能有效阻止 RV 医院感染暴发,隔离时间越晚,感染人数越多,暴发持续时间越长。为早期发现 RV 患儿,及时隔离,建议将 RV 快速检测纳入腹泻患儿入院常规检测,并对住院病房进行分区管理,设立腹泻患儿专区,对未确诊的腹泻患儿进行预防性隔离。除环境物品与医务人员手外,家属手也是 RV 传播的重要途径<sup>[11]</sup>。研究<sup>[12]</sup>表明,5 岁以下儿童家长对腹泻的预防知识知晓程度较低,建议在 RV 高发时期,加强对患儿家长 RV 感染的预防知识宣教,降低患儿医院感染风险。

本文通过构建不同条件的 RV 医院感染暴发的动力学模型,有效评估不同时间采取隔离措施在医院感染暴发防控中的作用,为防止 RV 医院感染暴发提供科学理论依据,但由于缺乏儿科病房 RV 医院感染暴发数据,未对模型进行实证研究,仅将模拟结果与以往研究进行对比,有待进一步研究。

#### [参 考 文 献]

[1] 廖雪春,谢晓丽,任敏,等. 2006—2010 四川地区婴幼儿腹泻轮状病毒监测[J]. 预防医学情报杂志,2012,28(5):361-363.

[2] 张光萍,刘秀珍,江炼,等. 武汉市住院婴幼儿医院感染轮状病毒现状及危险因素分析[J]. 中华医院感染学杂志,2012,22

(9):1796-1798.

[3] 刘杨,赵向绒,雷蕾,等. 西安市儿童轮状病毒腹泻流行病学和临床特征分析[J]. 中国预防医学杂志,2015,16(10):766-769.

[4] 李英杰,汤全英,张梦寒,等. 苏州市部分住院儿童感染性腹泻的病原学研究[J]. 职业与健康,2015,31(3):358-361.

[5] 李兰娟,任红. 传染病学[M]. 北京,人民卫生出版社,2013.

[6] 马知恩. 传染病动力学的数学建模与研究[M]. 北京:科学出版社,2004.

[7] de Blasio BF, Kasymbekova K, Flem E. Dynamic model of rotavirus transmission and the impact of rotavirus vaccination in Kyrgyzstan[J]. *Vaccine*, 2010, 28(50): 7923-7932.

[8] Atkins KE, Shim E, Pitzer VE, et al. Impact of rotavirus vaccination on epidemiological dynamics in England and Wales [J]. *Vaccine*, 2012, 30(3): 552-564.

[9] 江华,潘海霞,孙明伟,等. 基于计算流行病学的埃博拉出血热的传播与爆发仿真研究[J]. 中华急诊医学杂志,2014,23(9): 974-978.

[10] 尹丽,赵华,谢华,等. 一起新生儿轮状病毒疑似医院感染暴发调查分析与处置[J]. 华西医学,2015,30(2):230-232.

[11] 赵倩,邵晓珊,陈后平,等. 轮状病毒性腹泻患儿医院感染相关因素分析[J]. 中华医院感染学杂志,2015,25(18):4255-4256,4278.

[12] 张旭光,王翠娟,王焱新,等. 黑龙江省 5 岁以下儿童家长对急性腹泻病防治知识的需求评估[J]. 中华疾病控制杂志,2016, 20(1):42-45.

(本文编辑:左双燕)