

·疾病预防控制·

基于传播动力学模型的新疆托里县 HPV 感染预测分析

宋晓娟¹, 王岩², 贾慧民²

1. 新疆医科大学公共卫生学院, 新疆 乌鲁木齐 830011; 2. 新疆医科大学附属肿瘤医院医务部, 新疆 乌鲁木齐 830054

摘要:目的 应用传播动力学模型研究高危型人乳头瘤病毒(HR-HPV)在新疆维吾尔自治区(简称新疆)托里县的流行趋势并定量评价二价疫苗干预的效果。为预防 HR-HPV 感染、疫苗接种、治疗提供参考。方法 根据 HPV 感染自然史建立传播动力学模型。收集新疆托里县宫颈癌筛查数据,采用考虑无干预以及二价疫苗覆盖率 50%、60%和 70%干预的传播动力学模型进行模拟预测,定量评估不同干预措施下感染率高峰值、癌症患者人数,预测未来 20 年该地区感染趋势及宫颈癌患者人数。结果 该地接受宫颈癌筛查的妇女共 12 549 人,HR-HPV 感染人数 1 744 例,累积感染率为 13.9%。在无干预自然状态下,预测研究结束时感染率为 16.33%,感染人数为 1 914 例,癌症患者为 294 例,总人口数为 11 666 人。采取二价疫苗覆盖率分别为 50%、60%、70%干预措施后预测最终感染率分别为 15.31%、15.07%、14.82%,宫颈癌患者分别为 185、164 和 142 例,总人口数分别为 11 949、12 005 和 12 061 人。重要参数的敏感性分析表明清除率越大对减少感染人数的效果越好,康复者再度成为易感者的率越低感染人数将越少。结论 实施疫苗接种,增大接种覆盖率可减少托里县 HR-HPV 感染人数,减少宫颈癌患者的人数,有助于减缓总人口数的减少。预防 HR-HPV 感染时要重视采取措施提高清除率,进一步增加清除率对于感染人数的控制效果将逐渐减弱。

关键词:人乳头瘤病毒;传播动力学模型;感染率

中图分类号:R737.33 文献标志码:A 文章编号:1003-8507(2024)23-4379-08

DOI:10.20043/j.cnki.MPM.202405294

Prediction and analysis of HPV infection in Toli county, Xinjiang based on a transmission dynamics model

SONG Xiao-juan*, WANG Yan, JIA Hui-min

**School of Public Health, Xinjiang Medical University, Urumqi, Xinjiang 830011, China*

Abstract: Objective To investigate the epidemiological trends of high-risk human papillomavirus (HR-HPV) in Toli county, Xinjiang, using a transmission dynamics model, and to quantitatively assess the impact of bivalent vaccine interventions, to provide a reference for the prevention of HR-HPV infections and vaccination strategies. **Methods** A transmission dynamics model was established based on the natural history of HPV infection. Data on cervical cancer screening in Toli county were collected, and simulations were conducted under scenarios of no intervention and bivalent vaccine coverage rates of 50%, 60%, and 70% to predict the infection rates, peak infection values, and the number of cancer patients. The future trends of infections and cervical cancer patients over the next 20 years were also forecasted. **Results** A total of 12 549 women underwent cervical cancer screening, with 1 744 cases of HR-HPV infection, resulting in a cumulative infection rate of 13.9%. In the absence of intervention, the predicted infection rate at the end of the study was 16.33%, with an estimated 1 914 infections and 294 cancer patients in a total population of 11 666. With bivalent vaccine coverage rates of 50%, 60%, and 70%, the predicted final infection rates were 15.31%, 15.07%, and 14.82%, respectively, with corresponding numbers of cervical cancer patients being 185, 164, and 142, and total populations of 11 949, 12 005, and 12 061, respectively. Sensitivity analysis of key parameters indicated that a higher clearance rate was more effective in reducing the number of infections, and a lower rate of recovered individuals becoming susceptible again led to fewer infections. **Conclusion** Implementing vaccination and increasing coverage rates can reduce the number of HR-HPV infections and cervical cancer patients in Toli county, which may help mitigate the decline in the total population. Emphasis should be placed on measures to improve clearance rates when preventing HR-HPV infections, as the effectiveness of further increasing clearance rates on infection control will gradually diminish.

Keywords: Human papillomavirus; Transmission dynamics model; Infection rate

基金项目:多癌联筛早诊新体系的建立和全国推广应用新策略的评价(2022YFC2505100);自治区科技支疆项目计划(2022E02054)

作者简介:宋晓娟(1997—),女,硕士在读,研究方向:公共卫生

通信作者:贾慧民,E-mail:108080088@qq.com

人乳头瘤病毒(human papilloma virus, HPV)是一种无包膜的 DNA 病毒,可引起人类皮肤和黏膜的增生性病变,目前为止已鉴定出 200 多种 HPV 基因型别^[1]。大多数新获得的人乳头瘤病毒感染在 1~2 年内会逐渐清除^[2],虽然大多数 HPV 会被清除,但有些感染持续数年,如果不及时诊断和适当治疗,可能导致细胞异常和癌症^[3]。HPV 大量流行病学研究表明,HPV 感染是宫颈癌的病因之一,特别是在高危 HPV (high risk human papilloma virus, HR-HPV) 持续感染的情况下^[4-5],其中 HPV16/18 与 70% 的宫颈癌直接相关。

数学模型可以模拟病毒在人群中动态传播的过程^[6],更能表示人群健康状态随时间的变化。目前,国内有关 HPV 传播动力学模型的研究较少,而关于新疆维吾尔自治区(简称新疆)妇女 HPV 感染的传播以及控制措施对传播感染峰值影响的研究几乎为空白。针对 HPV 的感染和传播机制,本研究根据既往的易感者-感染者-宫颈癌患者-恢复者(SICR)模型^[7]进行改进,运用真实的数据构建动力学模型。该模型增加了新疆托里县妇女 HPV 感染的清除率,用于反映新疆托里县妇女 2025—2045 年 HPV 感染的流行趋势,比较纳入疫苗接种前后的不同状态人群人口变化,旨在掌握托里县 HPV 感染规律以期为更高质量的 HPV 防控措施及疫苗评价提供参考。

1 资料与方法

1.1 数据收集 本研究的数据来源于新疆托里县 2018—2023 年 2 000 人 HPV 检测数据(具体 HPV 分型检测见前期工作文献^[8])与《中国低卫生资源地区消除子宫颈癌示范项目》2022—2024 年该地宫颈癌筛查 14 种 HR-HPV 数据(16、18、31、33、35、39、45、51、52、56、58、59、66 和 68)。所有研究对象年龄 35~64 岁之间,均有性生活史且知情同意。

1.2 研究区域 本文主要收集新疆托里县妇女 HPV 筛查数据,考虑到模型所需参数较多,一些难以获得的参数则通过搜索新疆相关文献获得。如搜索“新疆农牧区妇女”“新疆 HPV”等相关关键词,以确保数据的关键性和代表性。本研究在该地区的模拟时间为 2025—2045 年。

1.3 HPV 传播动力学模型的建立

1.3.1 无干预状态下模型 从 HPV 感染到宫颈癌的发生是复杂且循序渐进的过程。本文根据 HPV 感染宫颈癌的自然史建立动力学模型,在基础的 SICR 模型上增加了总人口概念,包含易感者仓室(S)、HR-HPV 感染者仓室(I)、宫颈癌患者仓室(C)、康复者仓室(R),总人口(N)可表示为 $N=S+I+C+R$,各仓

室人群以不同的速率进出模型从而影响总人口数量。模型框架见图 1。

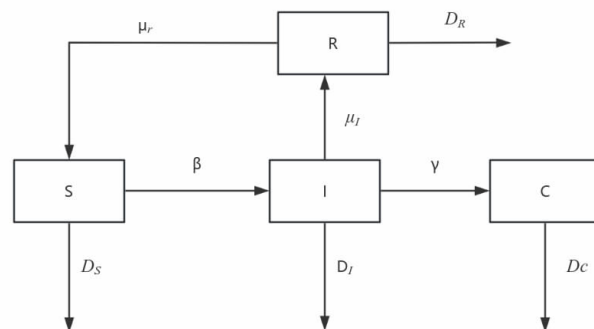


图 1 HPV 感染传播动力学模型示意图
Figure 1 Schematic representation of the epidemiological transmission of HPV infection

该模型描述了一个地区女性从易感者 S 感染 HPV 后经病毒清除恢复或持续感染 HPV 进展为宫颈癌 C 的过程。根据本课题前期流行病学数据及既往研究,大部分 HPV 感染为一过性感染^[9],少数持续感染才会进展为宫颈癌。该模型假设 HPV 感染后有两种结局:一是 HPV 清除,二是 HPV 持续感染进展为宫颈癌。为准确描述建立宫颈癌自然史模型本研究做出以下假设:(1)感染者 I 在病毒清除后会再次感染。(2)所有基因型别中疾病进展是一致的。(3)妇女 HPV 感染率与总人数 N 有关。(4)假设该人群处于稳定且封闭的状态。

文献中大多数模型都是确定性的,它们很大程度上相对容易建立。确定性模型可以使用差分方程式或常微分方程式建立^[9]。本研究使用常微分方程组建立 HPV 传播动力学模型,模型系统方程由 4 个一阶非线性常微分方程组成:

$$\frac{dS}{dt} = \mu_r \times R - \beta \times S - D_s \times S \tag{公式(1)}$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta \times S - \gamma \times I - D_i \times I - \mu_i \times I \tag{公式(2)}$$

$$\frac{dC}{dt} = \gamma \times I - D_c \times C \tag{公式(3)}$$

$$\frac{dR}{dt} = \mu_i \times I - D_r \times R - \mu_r \times R \tag{公式(4)}$$

1.3.2 二价疫苗接种措施模型 宫颈癌发生癌变过程中 HPV 感染是最为关键的一环,接种二价疫苗可预防引起约 70% 宫颈癌的两种亚型 HPV(16 和 18)。接种疫苗后易感者(S)成为感染者(I)的率将有所降低,此外,感染者(I)进展为宫颈癌(C)的率也将降低 70%,其余关系不变,该模型微分方程如下:

$$\frac{dS}{dt} = \mu_r \times R - \beta_{intervention} \times S - D_s \times S \tag{公式(5)}$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta_{intervention} \times S - \gamma_{intervention} \times I - D_I \times I - \mu_I \times I \quad \text{公式(6)}$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma_{intervention} \times I - D_R \times R \quad \text{公式(7)}$$

$$\frac{dC}{dt} = \mu \times I - D_C \times C - \mu_r \times R \quad \text{公式(8)}$$

1.4 参数估计 表 1 显示了模型使用的参数及参数值。根据相关文献数据及本课题实际研究数据来设置参数。

(1)根据第七次全国人口普查数据显示新疆托里县 35~64 岁女性人数为 17 736 名,模型初始规模人口设为接受筛查的 12 549 名适龄女性。模型初始易感者 S₀ 为 10 805,感染者 I₀ 为 1 744。数据来自《中国低卫生资源地区消除子宫颈癌示范项目》新疆塔城托里县示范地区 12 549 名接受子宫颈癌筛查妇女。

(2) 基于新疆托里县 2022—2024 年宫颈癌筛查数据,计算 HPV 感染率,感染率 β 为 0.139,见表 2。

(3) 相关研究表明女性 HPV 的清除中位时间约为 16 个月^[10]。本研究根据 2018 年新疆托里县建立的 2 000 名妇女的宫颈癌筛查队列研究计算 HPV 清除率,即感染者的清除率 μ_I 为每年 0.523 3^[8]。

(4)根据世界卫生组织数据,具有正常免疫系统的女性通常需要 15~20 年才能患宫颈癌,本文的模型考虑一般女性群体并参考文献^[11],因此,设感染者进展为癌症的概率 γ 为 0.025^[12]。

(5)HPV 发展为宫颈癌的概率很低,宫颈癌患者的自然死亡率较低可以忽略不计。宫颈癌患者如果不进行治疗 5 年生存率不足 10%。根据相关文献新疆妇女宫颈癌的死亡率 DC 可设为 0.161^[13]。

表 1 模型参数值

Table 1 Parameter values used in the model simulation

参数	意义	单位	取值	来源
D _S	易感者自然死亡率	年	0.000 48	第七次人口普查
D _I	感染者自然死亡率	年	0.000 48	第七次人口普查
D _R	恢复者自然死亡率	年	0.000 48	第七次人口普查
D _C	宫颈癌患者死亡率	年	0.161 00	文献 ^[13]
μ _r	康复者成为易感者的率	年	0.500 00	文献 ^[14]
β	易感者成为感染者的率	年	0.139 00	宫颈癌筛查
μ _I	感染者的 HPV 清除率	年	0.523 00	项目数据 ^[8]
γ	感染者进展为癌症的率	年	0.025 00	文献 ^[12]

表 2 宫颈癌筛查 HPV 感染情况

Table 2 Cervical cancer screening for HPV infection

年份(年)	筛查人数	HPV 阳性人数	阳性率(%)	HPV16/18 感染例数	感染率(%)
2022	4 183	621	14.84	76	1.82
2023	4 183	626	14.96	160	3.82
2024	4 183	497	11.88	86	2.06
总计	12 549	1 744	13.90	322	2.57

1.5 软件实现 使用了 Matlab R2021a 软件进行整体建模,数据分析以及图像处理,微分方程求解使用基于四阶-五阶-龙格库塔法(ode45)。数据分类,过渡参数和初始人口数估计使用 WPS 进行录入。

2 结果

2.1 HPV 感染模型验证拟合 利用新疆克拉玛依 2010—2019 年收集的参数^[15]作为初始变量对模型进行验证,将预测的累积感染率与当地实际累积感染数据进行比较。模型预测与实际数据拟合效果较好,有类似趋势。见图 2。

2.2 HPV 传播动力学模型预测 图 3 显示每个隔间中的人群数量的变化输出,它模拟了 2025—2045 年的每个隔间的人口趋势。在研究结束时预测该地适龄女性总人口数为 11 666 人,其中易感者人口数、感染者人口数和康复者人口数分别为 7 455、1 907 和 2 010 人,癌症患者累积病例为 294 人。在模型运行时

间内各仓室人口趋势达到稳定状态。

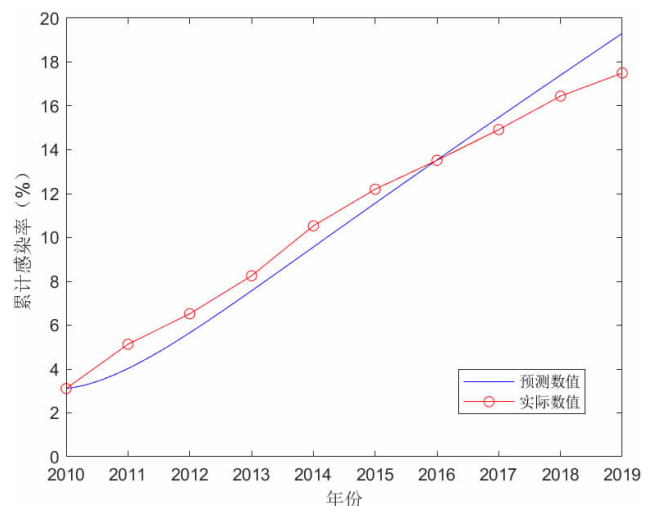


图 2 2010—2019 年 HPV 感染验证结果

Figure 2 Model validation using HPV incidence data of 2010—2019

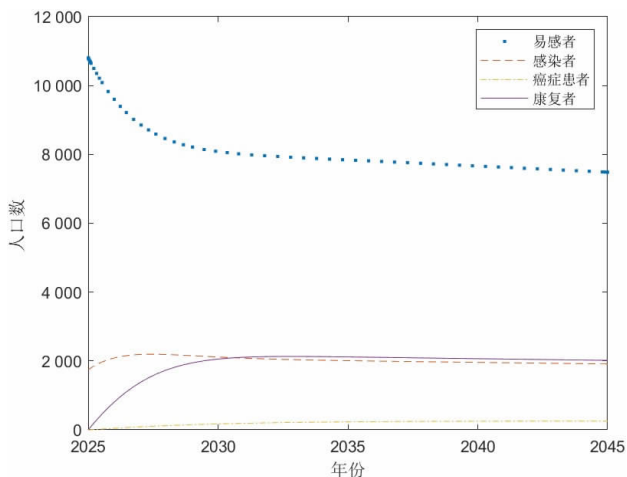


图 3 2025—2045 年 HPV 传播模型中每年的各仓室妇女人口数预测

Figure 3 Prediction of the annual population of women in each chamber in the HPV transmission model from 2025 to 2045

2.3 HPV 感染 图 4 为 2025—2045 年 HPV 感染趋势图, 预测感染率和感染人数在研究 5 年内达到最大值, 随后出现持续下降趋势, 初始的感染率为 13.9%, 随后上升至 17.34%, 预测 2030—2045 年感染率处于稳定状态, 研究结束时感染率为 16.33%, 总人口数量随时间减少, 从开始的 12 549 人减少至 11 666 人。见图 5。

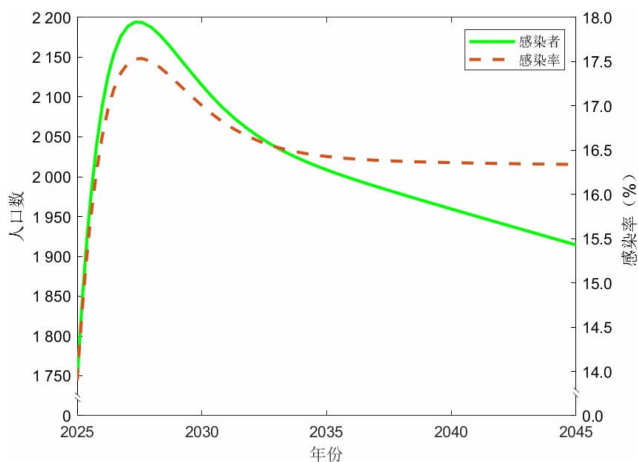


图 4 2025—2045 年 HPV 感染趋势图预测

Figure 4 Prediction of HPV infection trends from 2025 to 2045

2.4 干预措施模拟 二价疫苗可以预防 HPV16/18 型病毒感染, 可预防超 70% 的宫颈癌。本研究假设该地妇女二价 HPV 疫苗接种覆盖率为 50%, 保护率为 97.7%^[16]。由 2022—2024 年托里县宫颈癌筛查数据可知 HPV 阳性患者共 1 744 例, 感染率为 0.139, 其中 HPV16/18 感染患者 322 例, 占阳性患者比例为 18.5%, 文献可知感染者进展为癌症的率为 0.025。考虑干预因素的参数值如下:

干预后的感染力的值 = 易感者成为感染者的概

率 $\times (1 - \text{HPV16/18 阳性患者占比} \times \text{疫苗覆盖率} \times \text{疫苗保护率}) = 0.139 \times (1 - (0.185 \times 0.5 \times 0.977)) = 0.139 \times (1 - 0.078) = 0.139 \times 0.922 = 0.126$

接种疫苗后感染者进展为癌症的率 = 感染者进展为癌症的率 $\times [1 - (1 - 70\%) \times \text{疫苗覆盖率}] = 0.025 \times (1 - 30\% \times 50\%) = 0.02125$

即 $\beta_{\text{intervention}} = 0.126, \gamma_{\text{intervention}} = 0.02125$ 。同理可计算 60%, 70% 疫苗覆盖率下的 β 和 γ 的值。

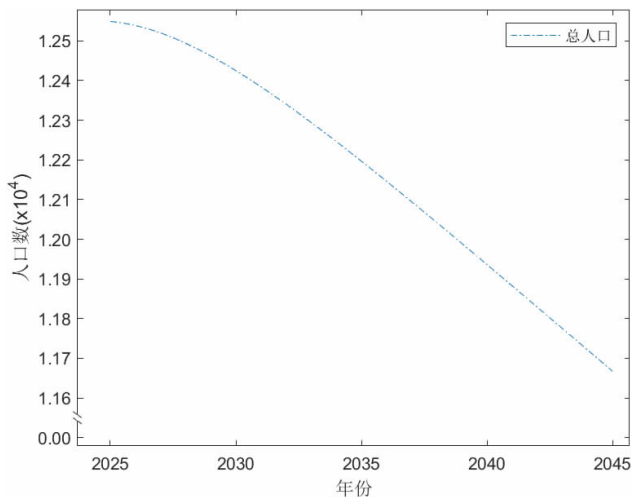


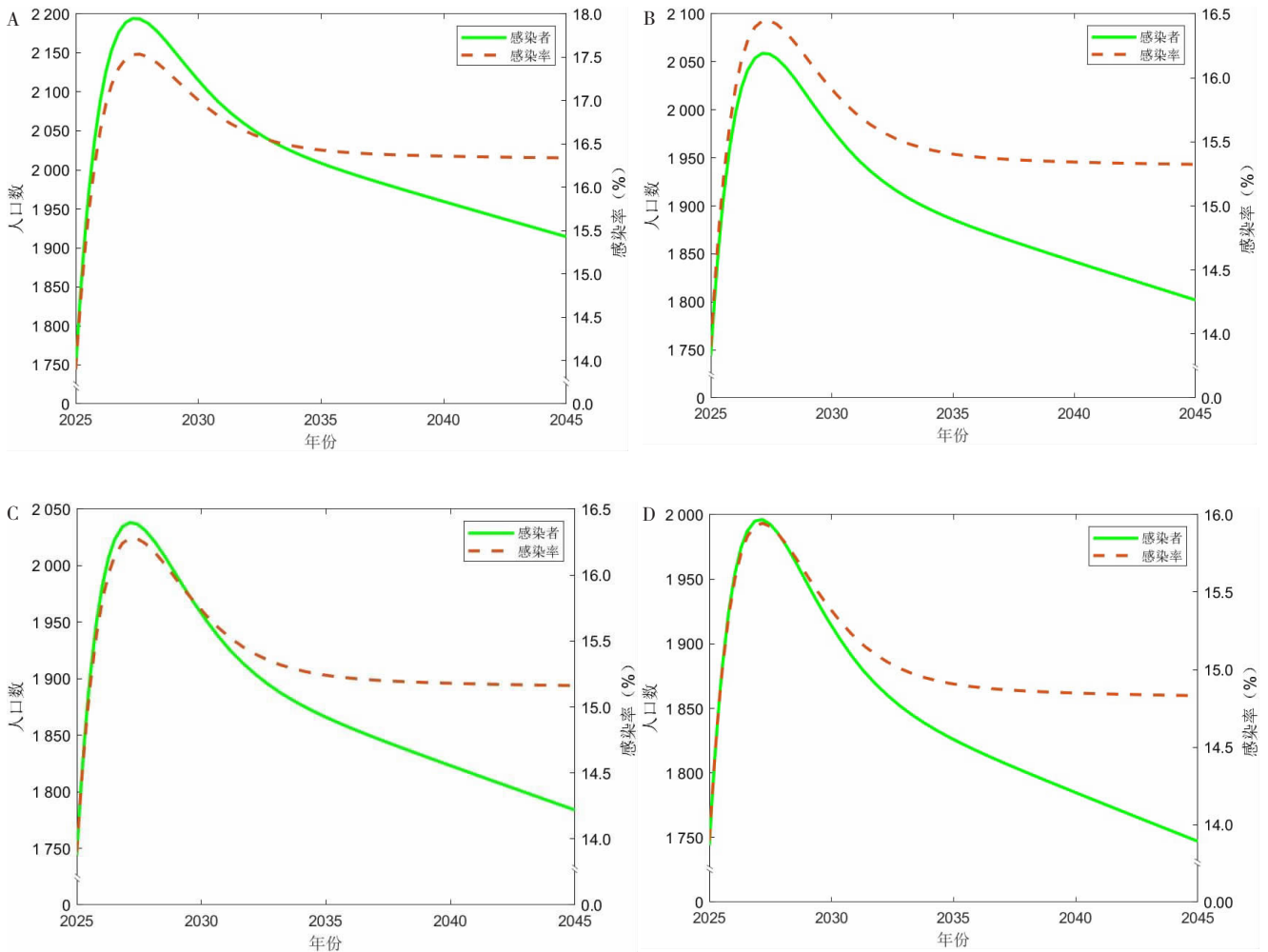
图 5 2025—2045 年 HPV 传播模型中每年总人口数量预测

Figure 5 Prediction of the number of total populations in HPV transmission from 2025 to 2045

干预的效果如图 6 所示, 显示了干预前及不同疫苗覆盖率下感染仓室内感染人数、感染率的变化。预测未来 0~5 年之间感染率峰值在干预前以及二价疫苗 50%、60%、70% 覆盖率干预后分别为 17.44%、16.38%、16.14%、15.89%。感染人数为 2 193、2 058、2 027 和 1 995 人。研究结束时感染率分别为 16.33%、15.31%、15.07%、14.82%, 感染人数分别为 1 914、1 801、1 774 和 1 746 人, 见表 3。在采取疫苗干预后感染人数降低, 达到感染率峰值时间提前, 疫苗覆盖率越大感染率越小。

如图 7 所示, 与不采取干预措施相比, 干预效果明显, 宫颈癌患者人口数将逐渐减少, 总人口数减少缓慢。50% 疫苗覆盖率状态下 2045 年后宫颈癌患者将从 294 人减少至 185 人, 60%、70% 覆盖率下宫颈癌患者将分别为 164 和 142 人; 总人口数分别为 11 666、11 949、12 005 和 12 061 人, 也就是说在三个不同疫苗覆盖率下未来 20 年宫颈癌患者将分别减少 109、130 和 142 人, 总人口分别挽救 283、339 和 395 名女性生命, 疫苗接种覆盖率越大, 效果越好。见表 3。

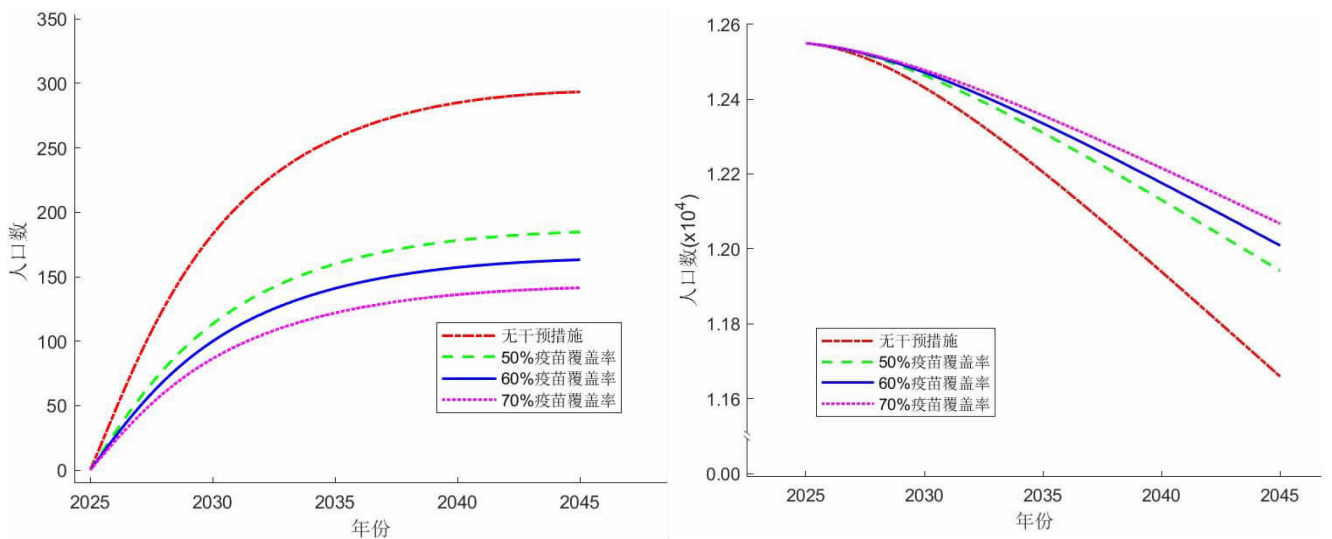
2.5 模型敏感性分析 分析模型中感染者清除率 μ_i 与康复者成为易感者的率 μ_r 与对感染者的影响, 对不同的 μ_r, μ_i 值进行预测。



注:A 为未施加干预措施;B 为 50% 疫苗覆盖率;C 为 60% 疫苗覆盖率;D 为 70% 疫苗覆盖率。

图 6 2025—2045 年 HPV 感染传播模型感染者仓室的人口数量预测

Figure 6 Prediction of the population in the infected warehouse of HPV infection transmission model from 2025 to 2045



注:A 为不同干预措施下癌症仓室人口数;B 为不同干预措施下总人口数量。

图 7 2025—2045 年不同干预措施每年宫颈癌仓室数量和总人口数量

Figure 7 Prediction of the number of cancer patients and total population for different interventions from 2025 to 2045

如图 8 所示,增加清除率对减少感染人数的效果较好,进一步增加清除率对减少感染人数的效果逐渐

减弱。清除率 μ_l 值增加 20%,感染人数减少 12.95%;当 μ_l 值增加 50%,感染人数减少 27%。然而, μ_l 值减

少 20%, 感染人数增加 17.53%; 当 μ_r 值减少 50%, 感染人数将增加 59.73%。

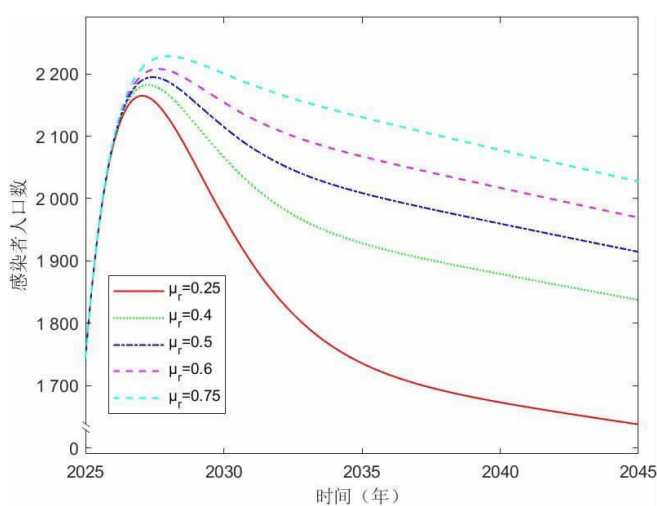
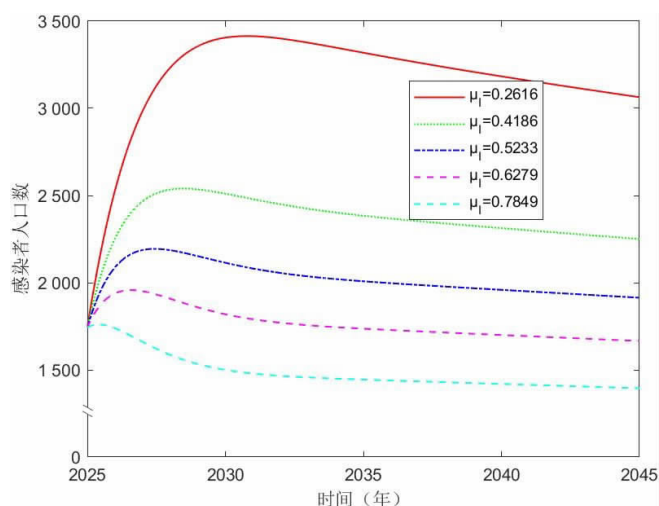
随着 μ_r 值的增加, 康复者更容易再次成为易感者, 从而导致感染人数的增长, 康复者成为易感者的

率越低, 感染人数减少的效果越好。具体为当 μ_r 值增加 50%, 感染人数增加 5.73%; μ_r 值降低 50%, 感染人数将减少 13.86%。

表 3 无干预和不同疫苗覆盖率下预测结果

Table 3 Predicted results without intervention and under different vaccine coverage rates

干预措施	结束时总人口数量	结束时癌症患者	感染高峰人数	感染率峰值(%)	结束时感染人数	结束时感染率(%)
无干预措施	11 666	294	2 193	17.44	1 914	16.33
二价疫苗接种覆盖率(%)						
50	11 949	185	2 058	16.38	1 801	15.31
60	12 005	164	2 027	16.14	1 774	15.07
70	12 061	142	1 995	15.89	1 746	14.82



注:A 为不同 μ_i 值下感染者的人数;B 为不同 μ_r 值下感染者人数。

图 8 μ_i 、 μ_r 敏感性分析

Figure 8 Sensitivity analysis of μ_i and μ_r

3 讨论

本研究所构建的模型与以往开发的模型略有不同, 它包括了研究项目所得真实流行病学参数及干预方法对病毒发病率的影响^[7]。参考此前马越等人^[18]研究加入二价疫苗的干预措施, 模型模拟 2025—2045 年间新疆塔城地区托里县妇女各健康状态下人群随时间的变化, 观察干预如何随时间减少感染率, 将干预结果与不干预结果进行图形化比较。模型模拟验证拟合效果较好, 在整个预测期间, 没有干预措施的情况下各仓室曲线出现短暂上升随后趋于平稳。预计 2025—2045 年该地感染率在 13.9%~17.34% 波动, 其与报道中国普通女性人群 HPV 感染率 13.1%~18.8% 水平接近^[9]。预测结果显示, 该地 5 年内将达到 HPV 感染的高峰值 17.34%, 这或许与我国女性 HPV 感染“双峰”模式^[20]有关, 研究人群为 35~64 岁女性, 30 岁左右的女性免疫功能较好, 身体自我清除病毒能力强, 随着时间的进展女性 40 岁以后免疫

力降低, HPV 感染后清除病毒的能力减弱, 出现女性第二个感染高峰期。HPV 感染高峰值提示在预防 HPV 感染时要关注免疫力功能降低的中年女性。

二价疫苗可预防 HPV16/18 病毒感染, 50% 二价疫苗覆盖率下结束时整体 HPV 感染率为 15.31%, 然而增加覆盖率对降低整体 HPV 感染的效果并不理想。事实上, 该地宫颈癌筛查 14 种 HPV 型别数据, HPV16/18 感染者在整体 HPV 感染中占比并不多, 16/18 型可引起大多数宫颈癌, 其他 HPV 型别会引起生殖器疣等疾病, 因此二价疫苗接种旨在减少宫颈癌的发病。未实施干预措施时, 研究开始到结束该地总人口数量将从 12 549 人减少为 11 666 人, 这表明如果不采取任何措施, 该地将减少 883 名女性, 二价疫苗接种覆盖率为 70% 时 2045 年后该地宫颈癌仓室数量将从无措施时 294 人减少至 142 人, 总人口数量也将从 11 666 人增加为 12 061 人, 与未实施措施相比宫颈癌仓室将减少 88 名妇女, 总人口数也将增加

395 人,由此可见疫苗接种提供了明显的保护作用。

对感染者清除率及康复者成为易感者的率进行敏感性分析预测,结果显示康复率提升 50%将减少 27%的感染人数,然而降低康复率 50%则会增加 59.73%的感染人数。此外,康复者的易感率降低 50%,感染人数减少 13.86%。这提示在预防 HPV 传播过程中注重清除率在传播过程的重要作用要比注重康复者成为易感者的率更具价值。规划干预措施时要关注清除率这一参数。对感染者进行治疗或增加运动锻炼,提高免疫力,增加清除率将有效减少感染的人数。

综上所述,通过 HPV 传播动力学模型预测分析可以估算托里县 HPV 未来 20 年的感染率感染高峰,癌症数量及总人口数,对不同二价疫苗覆盖率干预结果进行预测,预测结果可为该地宫颈癌预防措施和策略调整提供科学依据。因数据可获得性差,模型验证部分使用的是已经发表的文献中的数据,未使用当地实际数据,如果有当地连续多年的筛查数据模型验证效果将会更好。研究真实参数来自 35~64 岁的筛查妇女,我国《加速消除宫颈癌全球战略》提出 2030 年 90%的女孩在 15 岁之前完成 HPV 疫苗接种,而本研究假设疫苗干预部分未考虑疫苗接种年龄的影响。此外,模型模拟的状况相对理想化,研究人群为固定的人群未考虑人口变化。

利益冲突声明 本研究不存在任何利益冲突

参考文献

- [1] Burd EM. Human papillomavirus laboratory testing: the changing paradigm[J]. *Clinical Microbiology Reviews*, 2016, 29(2): 291-319.
- [2] Arthur AW, El-Zein M, Burchell AN, et al. Detection and clearance of Type-Specific and phylogenetically related genital human papillomavirus infections in young women in new heterosexual relationships [J]. *Journal of Infectious Diseases*, 2024, 229 (3): 691-706.
- [3] Mboumba bouassa RS, Péré H, Jenabian MA, et al. Natural and vaccine-induced B cell-derived systemic and mucosal humoral immunity to human papillomavirus [J]. *Expert Review of Anti-Infective Therapy*, 2020, 18(6): 579-607.
- [4] Bogani G, Sopracordevole F, Ciavattini A, et al. Duration of human papillomavirus persistence and its relationship with recurrent cervical dysplasia [J]. *European Journal of Cancer Prevention*, 2023, 32(6): 525-532.
- [5] Bruno MT, Valenti G, Ruggeri Z, et al. Correlation of the HPV 16 genotype persistence in women undergoing LEEP for CIN3 with the risk of CIN2+ relapses in the first 18 months of Follow-Up: A multicenter retrospective study[J]. *Diagnostics (Basel)*, 2024, 14(5): 509.
- [6] 王玉,陈姗姗,傅新楚. 传播动力学模型回顾与展望[J]. *应用数学与计算数学学报*, 2018, 32(2): 267-294.
Wang Y, Chen SS, Fu XC. Review and prospect of propagation dynamics models [J]. *Communication on Applied Mathematics and Computation*, 2018, 32(2): 267-294.(In Chinese)
- [7] Xu J, Abudurusuli G, Rui J, et al. Epidemiological characteristics and transmissibility of hpv infection:A long-term retrospective study in hokkien Golden Triangle,China,2013-2021 [J]. *Epidemics*, 2023, 44: 100707.
- [8] 王豆,昆阿依木·叶尔江,董璇,等. 新疆哈萨克族妇女中、高危型人乳头瘤病毒感染自然转归及影响因素分析[J]. *中国公共卫生*, 2023, 39(6): 740-746.
Wang D, Kun A Yi Mu - Ye Er Jiang, Dong X, et al. Natural outcome and influencing factors of moderate-and high-risk human papillomavirus infection among Kazakh women in Xinjiang Uygur Autonomous Region [J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2023, 39 (6): 740-746.(In Chinese)
- [9] Turner K. Introduction to infectious disease modelling [J]. *Sexually Transmitted Infections*, 2010, 87(1): 21.
- [10] Yang XH, Li YY, Tang Y, et al. Cervical HPV infection in Guangzhou, China: an epidemiological study of 198,111 women from 2015 to 2021 [J]. *Emerging Microbes & Infections*, 2023, 12(1): e2176009.
- [11] 余艳琴,富诗岚,徐慧芳,等. 中国大陆女性体检人群中人乳头瘤病毒型别感染率及九价疫苗中 hpv 各型别分布的系统评价[J]. *肿瘤预防与治疗*, 2019, 32(2): 11.
Yu YQ, Fu SL, Xu HF, et al. Genotype-specific prevalence and distribution of cervical human Papillomavirus in women undergoing health check-ups in mainland China: a systematic review based on population-based studies [J]. *Journal of Cancer Control and Treatment*, 2019, 32(2): 11.(In Chinese)
- [12] Zhang K, Wang XW, Liu H, et al. Mathematical analysis of a human papillomavirus transmission model with vaccination and screening[J]. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 2020, 17 (5): 5449-5476.
- [13] Drolet M, Laprise JF, Martin D, et al. Optimal human papillomavirus vaccination strategies to prevent cervical cancer in low-income and middle-income countries in the context of limited resources: a mathematical modelling analysis [J]. *Lancet Infectious Diseases*, 2021, 21(11): 1598-1610.
- [14] Smith JS, Green J, de Gonzalez AB, et al. Cervical cancer and use of hormonal contraceptives: a systematic review [J]. *The Lancet*, 2003, 361(9364): 1159-1167.
- [15] 聂艳武,马玉花,王琛琛,等. 基于 Joinpoint 和 APC 模型的 2010-2019 年新疆克拉玛依市队列人群 HPV 感染特征及趋势分析[J]. *现代预防医学*, 2022, 49(11): 1921-1925.
Nie YW, Ma YH, Wang CC, et al. Analysis of HPV infection characteristics and trend of cohort population in Karamay City, Xinjiang,2010-2019 based on Joinpoint and APC Model[J]. *Modern Preventive Medicine*, 2022, 49(11): 1921-1925.(In Chinese)
- [16] Qiao YL, Wu T, Li RC, et al. Efficacy, safety, and immunogenicity of an escherichia coli-Produced bivalent human papillomavirus vaccine: an interim analysis of a randomized clinical trial [J]. *Journal of the National Cancer Institute*, 2020, 112(2): 145-153.
- [17] Campos NG, Burger EA, Sy S, et al. An updated natural history model of cervical cancer: derivation of model parameters [J]. *American Journal of Epidemiology*, 2014, 180(5): 545-555.
- [18] 马越,柯夏童,梁栩源,等. 传播动力学模型在 HPV 疫苗经济

and endothelial function in stable angina patients [J]. *Physiology & Behavior*, 2013, 118: 152–158.

[18] Beurel E, Toups M, Nemeroff CB. The bidirectional relationship of depression and inflammation: double trouble [J]. *Neuron*, 2020, 107(2): 234–256.

[19] Monroe SM, Harkness KL. Major depression and its recurrences: Life course matters [J]. *Annual Review of Clinical Psychology*, 2022, 18: 329–357.

[20] Clarke DM, Currie KC. Depression, anxiety and their relationship with chronic diseases: a review of the epidemiology, risk and treatment evidence [J]. *Medical Journal of Australia*, 2009, 190(S7): S54–S60.

[21] Lotfaliany M, Bowe SJ, Kowal P, et al. Depression and chronic diseases: Co-occurrence and communality of risk factors [J]. *Journal of Affective Disorders*, 2018, 241: 461–468.

[22] Jia ZQ, Li S. Risk of cardiovascular disease mortality in relation to depression and 14 common risk factors [J]. *International Journal of General Medicine*, 2021, 14: 441–449.

[23] Stahl ST, Beach SR, Musa D, et al. Living alone and depression: the modifying role of the perceived neighborhood environment [J]. *Aging & Mental Health*, 2017, 21(10): 1065–1071.

[24] Lau KK, Wong YK, Teo KC, et al. Stroke patients with a past history of cancer are at increased risk of recurrent stroke and cardiovascular mortality[J]. *PLOS One*, 2014, 9(2): e88283.

[25] Almeida OP, Ford AH, Hankey GJ, et al. Depression, antidepressants and the risk of cardiovascular events and death in older men[J]. *Maturitas*, 2019, 128: 4–9.

收稿日期:2024-07-26

(上接第 4385 页)

学评价中应用[J]. *中国公共卫生*, 2021, 37(12):1742–1745.

Ma Y, Ke XT, Liang XY, et al. Application of transmission dynamics model in economic evaluation on HPV vaccine vaccination: a brief introduction [J]. *Chinese Journal of Public Health*, 2021, 37(12): 1742–1745.(In Chinese)

[19] 中华预防医学会疫苗与免疫分会. 子宫颈癌等人乳头瘤病毒相关疾病免疫预防专家共识 (简版)[J]. *中华预防医学杂志*, 2019, 53(12): 1218–1235.

Zhong Hua Yu Fang Yi Xue Hui Yi Miao Yu Mian Yi Fen Hui. Expert consensus on immunoprophylaxis of human papillomavirus-related diseases (abridged)[J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 2019, 53(12): 1218–1235.(In Chinese)

[20] Zhao FH, Lewkowitz AK, Hu SY, et al. Prevalence of human papillomavirus and cervical intraepithelial neoplasia in China: A pooled analysis of 17 population-based studies [J]. *International Journal of Cancer. Journal International du Cancer*, 2012, 131(12): 2929–2938.

收稿日期:2024-05-20

读者·作者·编者

优先征集国家、省部级基金项目 及重点攻关项目论文启事

为了提高本刊的学术水平,促进本刊发展,特向各医学院校、医院、医学科研机构广泛征集国家、省部级自然科学基金资助项目和重点攻关项目的论文,范围包括基础医学、预防医学和临床医学各专业的论著、调查报告、技术与方法等。对上述专业范围的基金项目或攻关项目产出的文稿须在首页下注明项目名称、项目编号,并提交有关证明的复印件,本刊一经审查合格,将优先发表,免收审稿费。

欢迎积极撰文,踊跃投稿。