

• 慢病专题:呼吸系统相关疾病 •

广州市增城区 2020—2022 年健康人群百日咳毒素 IgG 抗体水平调查^{*}

王 盼¹, 黄 勇², 郑志伟², 叶梓莹¹, 汤叔珍¹, 廖燕冰¹

(1. 广州市增城区疾病预防控制中心免疫规划部, 广东 广州 511300; 2. 广州市疾病预防控制中心免疫规划部, 广东 广州 510440)

[摘 要] **目的** 调查广州市增城区健康人群百日咳毒素 IgG 抗体(PT-IgG)水平。**方法** 于 2020—2022 年在广州市增城区全年龄段健康人群中随机抽取调查对象开展 PT-IgG 水平调查, 每年抽取 100 名, 共抽取 300 名。采用酶联免疫吸附试验检测血清 PT-IgG 水平, 分析不同特征调查对象 PT-IgG 抗体几何平均浓度(GMC)、阳性率及抗体分布情况, 同时对不同接种间隔时间调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平进行比较。**结果** 300 名调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平为 9.19 IU/mL(95%CI 8.26~10.22), 其中 53.7%(161/300)的调查对象抗体水平低于检出限(5 IU/mL), 抗体阳性率为 2.33%(7/300)。男性、女性调查对象 PT-IgG 抗体阳性率分别为 1.62%、3.48%, GMC 水平分别为 8.59 IU/mL(95%CI 7.55~9.78)、10.23 IU/mL(95%CI 8.52~12.30)。不同性别调查对象 PT-IgG 抗体阳性率、GMC 水平及抗体分布情况比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。本地、外地调查对象 PT-IgG 抗体阳性率分别为 2.63%、0, GMC 水平分别为 9.18 IU/mL(95%CI 8.19~10.29)、9.21 IU/mL(95%CI 6.77~12.53)。不同地区调查对象 PT-IgG 抗体阳性率、GMC 水平及抗体分布情况比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。不同年龄调查对象 PT-IgG 抗体阳性率比较, 差异无统计学意义($P>0.05$)。不同年龄调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平及抗体分布情况比较, 差异有统计学意义($P<0.001$)。不同接种间隔时间调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平比较, 差异有统计学意义($P<0.001$)。**结论** 广州市增城区健康人群 PT-IgG 水平较高, 20 岁以下人群感染和传播风险较高。

[关键词] 百日咳; 健康人群; 抗体; 疫苗

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2025.12.010

中图法分类号:R446.6

文章编号:1009-5519(2025)12-2784-04

文献标识码:A

Survey on IgG antibody levels against pertussis toxin in healthy population in Zengcheng district of Guangzhou from 2020 to 2022^{*}

WANG Pan¹, HUANG Yong², ZHENG Zhiwei², YE Ziyang¹, TANG Shuzhen¹, LIAO Yanbing¹

(1. Department of Immunization Program, Zengcheng District Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 511300, China; 2. Department of Immunization Program, Guangzhou Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou, Guangdong 510440, China)

[Abstract] **Objective** To investigate the levels of IgG antibody against pertussis toxin(PT-IgG) in healthy population in Zengcheng District, Guangzhou. **Methods** From 2020 to 2022, the subjects were randomly selected from healthy population of all age groups in Zengcheng District for PT-IgG level survey. A total of 300 subjects were selected, with 100 subjects each year. Enzyme-linked immunosorbent assay(ELISA) was used to detect serum PT-IgG levels. The geometric mean concentration(GMC), positive rate and antibody distribution of PT-IgG in subjects with different characteristics were analyzed, and the GMC levels of PT-IgG in subjects with different vaccination intervals were compared. **Results** The GMC of PT-IgG in 300 subjects was 9.19 IU/mL(95%CI 8.26—10.22). Among them, 53.7%(161/300) of the subjects had antibody levels below the detection limit(5 IU/mL), and the antibody positive rate was 2.33%(7/300). The PT-IgG positive rates of male and female subjects were 1.62% and 3.48%, respectively, and their GMC levels were 8.59 IU/mL(95%CI 7.55—9.78) and 10.23 IU/mL(95%CI 8.52—12.30), respectively. There were no statistically significant differences in PT-IgG positive rates, GMC level and antibody distribution between subjects of dif-

^{*} 基金项目:广东省广州市卫生健康科技项目(20241A011066)。

作者简介:王盼(1988—), 硕士研究生, 主管医师, 主要从事免疫规划工作。

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250910.1307.002\(2025-09-10\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1129.R.20250910.1307.002(2025-09-10))

ferent genders($P>0.05$). The PT-IgG positive rates of local and non-local subjects were 2.63% and 0, respectively, and their GMC levels were 9.18 IU/mL (95%CI 8.19–10.29) and 9.21 IU/mL (95%CI 6.77–12.53), respectively. There were no statistically significant differences in PT-IgG positive rates, GMC level and antibody distribution between subjects from different regions($P>0.05$). There was no statistically significant difference in PT-IgG positive rate among subjects of different ages($P>0.05$). However, there were statistically significant differences in PT-IgG GMC level and antibody distribution among subjects of different ages ($P<0.001$). There was a statistically significant difference in PT-IgG GMC level among subjects with different vaccination intervals($P<0.001$). **Conclusion** The PT-IgG level of healthy population in Zengcheng District, Guangzhou is relatively high, and the population under 20 years old has a higher risk of infection and transmission.

[Key words] Pertussis; Healthy population; Antibody; Vaccine

20 世纪 80 年代以来,含百日咳成分疫苗高覆盖率的国家百日咳发病率呈持续上升趋势,有些地方甚至出现暴发疫情,国际上称之为百日咳再现^[1]。近年来我国百日咳发病率也显著升高^[2]。百日咳的基本再生数(R_0)为 5~17,疫苗接种和自然感染均不能获得持久免疫力^[3]。百日咳毒素 IgG 抗体(PT-IgG)作为百日咳的代表性病原学标志物之一,其血清学监测常用于评估人群免疫状况和感染负担。本研究在广州市增城区开展了全年龄段健康人群 PT-IgG 水平调查,旨在评估百日咳感染现状和疾病发生风险。

1 资料与方法

1.1 一般资料 于 2020—2022 年在广州市增城区全年龄段健康人群中随机抽取调查对象开展 PT-IgG 水平调查,每年抽取 100 名,共抽取 300 名,其中男 185 名,女 115 名;年龄 3 d 至 87 岁;本地 266 名,外地 34 名。本调查已经过广州市增城区疾病预防控制中心伦理委员会审核批准(ZCCDC 伦理审查 2024008)。调查对象知情同意后自愿参加本调查。

1.2 方法 收集调查对象一般信息,包括性别、户籍和出生日期。使用非抗凝采血管采集静脉血 4 mL,由监测医院及时无菌分离出血清,于-20℃条件下保存,由广州市增城区疾病预防控制中心统一收齐后送广州市疾病预防控制中心进行检测。采用酶联免疫吸附试验(ELISA)定量检测 PT-IgG 水平,计算其几何平均浓度(GMC)。检测试剂盒购自德国维润赛润公司,最低检出限为 5 IU/mL,<40 IU/mL 为阴性,40~100 IU/mL 为临界值,≥100 IU/mL 为阳性。本研究将临界值判定为阴性。从调查对象中筛选出采样时已全程接种 4 剂次含百日咳成分疫苗的 18 岁以下调查对象 137 名,按最后一剂次接种时间距采样

时间的间隔分为<1 年(20 名)、1~<2 年(27 名)、2~<5 年(40 名)、5~<10 年(42 名)、≥10 年(8 名)5 组,分析接种后 PT-IgG 抗体随时间变化特征。

1.3 统计学处理 采用 SPSS27.0 软件进行数据分析。计数资料以率和构成比表示,组间比较采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。PT-IgG 抗体水平以 GMC 及其 95%CI 表示,组间比较采用 Mann-Whitney U 检验或 Kruskal-Wallis H 检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 PT-IgG 抗体 GMC 水平及阳性率调查情况 300 名调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平为 9.19 IU/mL(95%CI 8.26~10.22),其中 53.7%(161/300)的调查对象抗体水平低于检出限(5 IU/mL),抗体阳性率为 2.33%(7/300)。

2.2 不同特征调查对象 PT-IgG 抗体阳性率、GMC 水平及抗体分布情况比较 男性、女性调查对象 PT-IgG 抗体阳性率分别为 1.62%、3.48%,GMC 水平分别为 8.59 IU/mL(95%CI 7.55~9.78)、10.23 IU/mL(95%CI 8.52~12.30)。不同性别调查对象 PT-IgG 抗体阳性率、GMC 水平及抗体分布情况比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。本地、外地调查对象 PT-IgG 抗体阳性率分别为 2.63%、0,GMC 水平分别为 9.18 IU/mL(95%CI 8.19~10.29)、9.21 IU/mL(95%CI 6.77~12.53)。不同地区调查对象 PT-IgG 抗体阳性率、GMC 水平及抗体分布情况比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。不同年龄调查对象 PT-IgG 抗体阳性率比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。不同年龄调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平及抗体分布情况比较,差异有统计学意义($P<0.001$)。见表 1。

表 1 不同特征调查对象 PT-IgG 抗体阳性率、GMC 水平及抗体分布情况比较

项目	n	抗体阳性情况				抗体水平			
		阳性数	阳性率(%)	χ^2	P	GMC(IU/mL)	95%CI	U/H	P
性别				0.413	0.521			1 1694.5	0.116 ^b
男	185	3	1.62			8.59	7.55~9.78		
女	115	4	3.48			10.23	8.52~12.30		
地区				—	1.000 ^a			4591.5	0.874 ^b

续表 1 不同特征调查对象 PT-IgG 抗体阳性率、GMC 水平及抗体分布情况比较

项目	n	抗体阳性情况				抗体水平			
		阳性数	阳性率(%)	χ^2	P	GMC(IU/mL)	95%CI	U/H	P
本地	266	7	2.63			9.18	8.19~10.29		
外地	34	0	0			9.21	6.77~12.53		
年龄(岁)				4.909	0.425 ^a			41.21	<0.001 ^c
0~<3	84	3	3.57			14.75	11.62~18.71		
3~<5	49	0	0			6.67	5.61~7.92		
5~<7	39	0	0			6.02	5.10~7.11		
7~<10	46	1	2.17			8.33	6.44~10.76		
10~<20	34	2	5.88			9.33	6.54~13.33		
20~<41	26	0	0			9.29	6.64~12.98		
≥41	22	1	4.55			7.70	5.13~11.56		
合计	300	7	2.33			9.19	8.26~10.22		

项目	n	抗体分布情况[n(%)]				χ^2	P
		<5 IU/mL	5~<40 IU/mL	40~<100 IU/mL	≥100 IU/mL		
性别						2.706	0.439
男	185	105(56.8)	62(33.5)	15(8.1)	3(1.6)		
女	115	56(48.7)	46(40.0)	9(7.8)	4(3.5)		
地区						1.167	0.769 ^a
本地	266	143(53.8)	96(36.1)	20(7.5)	7(2.6)		
外地	34	18(52.9)	12(35.3)	4(11.8)	0		
年龄(岁)						40.808	<0.001 ^a
0~<3	84	26(31.0)	40(47.6)	15(17.9)	3(3.6)		
3~<5	49	33(67.3)	14(28.6)	2(4.1)	0		
5~<7	39	31(79.5)	7(17.9)	1(2.6)	0		
7~<10	46	27(58.7)	16(34.8)	2(4.3)	1(2.2)		
10~<20	34	18(52.9)	13(38.2)	1(2.9)	2(5.9)		
20~<41	26	12(46.2)	12(46.2)	2(7.7)	0		
≥41	22	14(63.6)	6(27.3)	1(4.5)	1(4.5)		
合计	300	161(53.7)	108(36.0)	24(8.0)	7(2.3)		

注：^a 为 Fisher 确切概率法；^b 为 Mann-Whitney U 检验；^c 为 Kruskal-Wallis H 检验。

2.3 不同接种间隔时间调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平比较 不同接种间隔时间调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平比较,差异有统计学意义($P<0.001$)。见表 2。

表 2 不同接种间隔时间调查对象 PT-IgG 抗体 GMC 水平比较					
时间间隔	n	GMC(IU/mL)	95%CI	H	P
<1 年	20	16.59	10.17~27.08	20.177	<0.001
1~<2 年	27	7.00	5.56~8.81		
2~<5 年	40	6.00	5.09~7.08		
5~<10 年	42	8.84	6.63~11.78		
≥10 年	8	10.84	4.78~24.61		
合计	137	8.36	7.25~9.65		

3 讨 论

本研究结果显示,不同地区、性别调查对象 PT-IgG 抗体阳性率和 GMC 水平无显著差异,与其他地区研究一致^[4-5]。广州市增城区健康人群 PT-IgG 抗体 GMC 水平为 9.19 IU/mL,其中 0~<3 岁组 GMC 水平最高(14.75 IU/mL),之后疫苗接种产生的抗体水平快速下降,超过半数人群的抗体水平低于检测下限,5~7 岁组降至最低(6.02 IU/mL),7 岁后呈现上升趋势,可能和自然感染导致抗体水平升高有关,但疫苗接种和自然感染产生的抗体水平持续时间均不长,≥41 岁时再次出现下降趋势。10~<20、20~<41 岁组 PT-IgG 抗体 GMC 水平较高,此年龄段人群疫苗接种产生的抗体已衰减至无保护水平,较高的 GMC 水平主要来源于自然感染。但 2023 年传染病

报告信息系统显示,广州市增城区此年龄段人群百日咳发病率低于 10/10 万,这类被忽视的发病人群在疾病传播方面具有重要作用,因此需要提升对成人病例的诊断意识和敏感性,加强健康宣教,降低家庭内传播给婴幼儿的风险。传染病报告信息系统显示,2023 年广州市增城区百日咳发病率由高到低依次为 0~<3 岁组(103.16/10 万)、5~<7 岁组(74.15/10 万)、7~<10 岁组(37.97/10 万)、3~<5 岁组(17.36/10 万)、10~<20 岁组(9.29/10 万)、20~<41 岁组(0.94/10 万)和 ≥41 岁组(0.34/10 万);病例数占比由高到低依次为 0~<3 岁组(40.69%)、5~<7 岁组(22.76%)、7~<10 岁组(15.86%)、10~<20 岁组(9.66%)、3~<5 岁组(6.21%)、20~<41 岁组(3.45%)和 ≥41 岁组(1.38%),其中 0~<3 个月龄病例数占全人群的 13.79%。广州市增城区健康人群 PT-IgG 抗体水平较广州市整体水平(4.35 IU/mL)高^[4]。2023 年广州市增城区报告病例数位居广州市各区第 2,占 15.92%,可能是广州市增城区人群实际发病率较高,导致 PT-IgG 抗体水平显著增加。与外省地区相比,广州市增城区健康人群抗体水平(9.19 IU/mL)高于浙江省义乌市(3.79 IU/mL)、河南省许昌市(4.90 IU/mL)和吉林省(7.27 IU/mL),低于河南省永城市(12.48 IU/mL)^[5-7],其中 3~7 岁组低于深圳市 4~6 岁儿童(9.04 IU/mL)^[8],10~<20 岁组低于深圳市南山区大学新生群体(14.64 IU/mL)^[9]。在各地区含百日咳成分疫苗接种率均较高的情况下,PT-IgG 抗体水平差异更可能是感染水平的差异。

本研究中 PT-IgG 抗体水平变化趋势与我国现行的免疫规划无细胞百白破疫苗接种程序相关,其接种程序为 3、4、5 个月龄各接种 1 剂,18 个月龄加强 1 剂,全程 4 剂次^[10]。研究表明,无细胞百白破疫苗初次免疫后,PT-IgG 抗体水平先升高后下降,约 1 年后接近检测下限,加强免疫 1 年后再次下降^[2]。部分国家自婴幼儿 2 个月龄时开始开展含百日咳成分疫苗接种,在学龄期、青春期加强免疫,并针对孕妇、成人或医护人员等实施疫苗接种政策^[1]。广州市增城区 0~<3 岁组 GMC 水平、发病率和病例数占比均最大,其中 0~<3 个月龄病例数占全人群的 13.79%,该部分儿童尚未接种免疫规划类百白破疫苗;5~<7 岁组 GMC 水平最低,且发病率仅次于 0~<3 岁组,是重要的易感人群,但按我国现行接种程序,6 周岁之后暂无含百日咳成分疫苗可接种。本次调查结果为优化含百日咳成分疫苗免疫策略,包括提早首剂次接种时间、6 周岁时百白破疫苗替换白破疫苗及为孕妇、成人提供含百日咳成分疫苗等提供了参考依据。根据最新政策部署,我国已调整适龄儿童免疫规划百白破疫苗的免疫程序,调整后儿童将于 2、4、6、18 个月龄和 6 周岁时各接种 1 剂次百白破疫苗,全程共接种 5 剂次,其主要改变为将首剂次接种年龄提前和增加

1 剂次加强免疫。此举对于降低婴幼儿百日咳疾病负担、提高人群免疫水平、控制百日咳传播具有重大意义。此外,使用不同技术路线设计百日咳疫苗的国家均报道了百日咳发病率持续升高的趋势^[2],已调整免疫程序的国家出现“百日咳再现”现象^[11],提示新型疫苗研发的必要性和紧迫性。

本研究结果显示,广州市增城区健康人群 PT-IgG 抗体阳性率为 2.33%,与 2018 年(2.0%)^[12]和 2019(2.4%)^[4]年广州市整体阳性率相当,高于广东省平均水平(1.73%)^[12],提示广州市增城区存在较高的感染和传播风险。我国 PT-IgG 抗体阳性率总体不高,但易感者所占比例大,人群免疫屏障不足,存在较高的百日咳感染风险和疾病负担^[13-14]。按百日咳感染 58.6 d 后抗体下降至小于 100 IU/mL,使用公式^[15]推算广州市增城区百日咳年感染率为 14 520/10 万,与 2023 年广州市增城区实际报告的百日咳发病率(9.9/10 万)有很大差距。广州市增城区 PT-IgG 抗体阳性集中在 20 岁以下人群,95.3%的报告病例也来自该年龄段,提示青少年儿童仍然是广州市增城区百日咳主要发病人群。多项研究显示,婴幼儿病例的主要传染源已转变为青少年和成人^[2],由于疾病认识、诊断意识和就诊率低,导致此部分传染源人群漏诊、漏报较多。

本研究还探讨了全程接种含百日咳成分疫苗后 PT-IgG 抗体水平的变化情况,18 岁以下人群全程接种后 PT-IgG 抗体 GMC 呈现快速下降和缓慢上升的趋势,接种后 1 年内 GMC 水平达到高峰值 16.59 IU/mL,之后 4 年内快速衰减至 6.00 IU/mL,接种后 10 年再次上升至 10.84 IU/mL,与吉林省的一项调查结果一致^[7]。提示疫苗接种后 PT-IgG 抗体衰减趋势,已接种疫苗的人群仍然存在感染和发病风险。此外,由于使用试剂盒不一样、判断标准不同,尤其是 PT-IgG 抗体阴性、阳性和临界值的判断标准不一致^[6],广东省内研究数据之间的 PT-IgG 抗体水平可比性较好,但阳性率判定仍有差异^[8-9]。建议尽快制定统一的监测和检测标准,提高数据可比性,明确百日咳的流行特征。

综上所述,广州市增城区健康人群 PT-IgG 抗体水平高于广东省广州市平均水平,病例报告水平远低于发病水平,20 岁以下人群感染和传播风险较高,建议进一步优化全年龄段和高风险人群免疫策略,加强健康宣教,提高监测和诊断水平。本研究基于监测工作进行,样本数量较小,需要根据疫苗接种和 PT-IgG 抗体水平衰减规律进一步细化监测年龄组,开展持续性监测工作,为优化接种政策和评估感染状况提供参考依据。

参考文献

- [1] 中华预防医学会,中华预防医学会疫苗与免疫分会.中国百日咳行动计划专家共识[J].中国公共卫生,2021,37(6):905-714. (下转第 2792 页)

[29] YU Y, WANG H, BAO Q, et al. Sugammadex versus neostigmine for neuromuscular block reversal and post-operative pulmonary complications in patients undergoing resection of lung cancer[J]. J Cardiothorac Vasc Anesth, 2022, 36(9):3626-3633.

[30] SONG S W, YOO K Y, RO Y S, et al. Sugammadex is associated with shorter hospital length of stay after open lobectomy for lung cancer: A retrospective observational study[J]. J Cardiothorac Surg, 2021, 16(1):45.

[31] LEE T Y, JEONG S Y, JEONG J H, et al. Comparison of postoperative pulmonary complications between sugammadex and neostigmine in lung cancer patients undergoing video-assisted thoracoscopic lobectomy: A prospective double-blinded randomized trial[J]. Anesth Pain Med(Seoul), 2021, 16(1):60-67.

[32] KAUFMANN K, HEINRICH S. Minimizing postoperative pulmonary complications in thoracic surgery patients [J]. Curr Opin Anaesthesiol, 2021, 34(1):13-19.

[33] BRUINTJES M H, VAN HELDEN E V, BRAAT A E, et al. Deep neuromuscular block to optimize surgical space conditions during laparoscopic surgery: A systematic review and meta-analysis[J]. Br J Anaesth, 2017, 118(6):834-842.

[34] SASAKI N, MEYER M J, MALVIYA S A, et al. Effects of neostigmine reversal of nondepolarizing neuromuscular blocking agents on postoperative respiratory outcomes: A prospective study[J]. Anesthesiology, 2014, 121(5):959-968.

[35] 刘毅, 姜辉, 吴歆, et al. 不同神经肌肉阻滞(NMB)深度对腹腔镜结直肠手术条件、围手术期肺氧合功能及术后肺部并发症的影响[J]. 复旦学报(医学版), 2020, 47(3):392-399.

[36] 陈昊, 焦博, 鲁佩, 等. 舒更葡糖钠逆转深度神经肌肉阻滞对腹腔镜术后肺部并发症的影响[J]. 中国医院药学杂志, 2021, 41(19):1993-1997.

[37] CHENG K I, TSE J, LI T Y. The strategy to use sugammadex to reduce postoperative pulmonary complications after da vinci surgery: A retrospective study[J]. J Pers Med, 2022, 12(1):52.

[38] CANET J, GALLART L, GOMAR C, et al. Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort[J]. Anesthesiology, 2010, 113(6):1338-1350.

[39] BAI Y X, HAN J J, LIU J, et al. Sugammadex reduced the incidence of postoperative pulmonary complications in susceptible patients identified by ARISCAT risk index: Systematic review and meta-analysis[J]. Adv Ther, 2023, 40(9):3784-3803.

[40] JI Y, YUAN H, CHEN Y, et al. Sugammadex is associated with reduced pulmonary complications in patients with respiratory dysfunction[J]. J Surg Res, 2023, 290:133-140.

(收稿日期:2025-04-11 修回日期:2025-08-28)

(上接第 2787 页)

[2] 李宏森, 梁疆莉, 杨净思. 百日咳流行病学特征及防控进展[J]. 中国生物制品学杂志, 2024, 37(3):361-369.

[3] 宁桂军, 吴丹, 李军宏, 等. 全球 2010—2014 年白喉、破伤风和百日咳免疫预防和发病水平现况分析[J]. 中国疫苗和免疫, 2016, 22(2):159-164.

[4] 王安娜, 贺晴, 陶霞, 等. 广州市 2019 年健康人群百日咳抗体水平调查[J]. 热带医学杂志, 2022, 22(12):1734-1737.

[5] 蔡世轩, 李杰, 代函鹰, 等. 2021—2022 年浙江省义乌市和河南省永城市健康人群百日咳抗体水平调查[J]. 中国预防医学杂志, 2024, 25(3):279-282.

[6] 张晓璐, 彭金华, 马莹莹, 等. 2020—2022 年许昌市 1~79 岁健康人群百日咳、白喉和破伤风 IgG 抗体水平的分析[J]. 微生物免疫学进展, 2024, 52(2):66-71.

[7] 付思美, 王锦, 李春梅, 等. 吉林省 2017—2021 年 2-75 岁健康人群百日咳毒素抗体水平调查[J]. 中国疫苗和免疫, 2023, 29(4):402-406.

[8] 李文豪, 彭远舟, 黄静, 等. 2021 年深圳市学龄期儿童百日咳 IgG 抗体水平调查[J]. 中国疫苗和免疫, 2021, 27(6):639-642.

[9] 于金太, 段永翔, 胡鹏威, 等. 2021 年深圳市南山区 287 名大学新生百日咳和白喉及破伤风抗体水平调查[J]. 热带医学杂志, 2024, 24(2):284-289.

[10] 国家卫生健康委员会. 国家免疫规划疫苗儿童免疫程序及说明(2021 年版)[J]. 中国病毒病杂志, 2021, 11(4):241-245.

[11] 张梦, 吴丹, 李艺星, 等. 国外百日咳疫苗免疫原性与保护效果的关系研究进展[J]. 中国疫苗和免疫, 2022, 28(4):481-485.

[12] 刘美真, 彭晓放, 张薇, 等. 2018 年广东省人群百日咳毒素 IgG 抗体水平调查[J]. 华南预防医学, 2022, 48(2):210-213.

[13] 商婷婷. 百日咳疾病的经济负担分析[J]. 现代医药卫生, 2019, 35(23):117-119.

[14] 朱瑶, 何寒青, 唐学雯, 等. 中国人群百日咳血清流行病学研究系统评价[J]. 中国疫苗和免疫, 2022, 28(1):115-120.

[15] DE MELKER H E, VERSTEEGH F G A, SCHELLEKENS J F P, et al. The incidence of Bordetella pertussis infections estimated in the population from a combination of serological surveys[J]. Infect, 2006, 53(2):106-113.

(收稿日期:2025-03-19 修回日期:2025-08-30)