·专题报道——儿童疫苗接种保护效果研究·

无细胞百白破疫苗对甘肃省 2 岁及以下婴幼儿患百日咳的保护效果：基于人群监测数据的回顾性队列研究

焦永卓，安婧，刘舒瑜，梁雪枫，张晓曙

甘肃省疾病预防控制中心，兰州 730000
通信作者：张晓曙，E-mail：zhxx@126.com

【摘　要】目的　评价吸附无细胞百白破疫苗（DTaP）对甘肃省 2 岁及以下婴幼儿患百日咳的保护效果（VE），为完善西部欠发达地区百日咳的免疫策略提供科学依据。**方法**　纳入 2023 年 1 月 1 日—12 月 31 日甘肃省出生的 176 688 名常住儿童，构建回顾性队列。使用 Poisson 回归模型计算风险比（*RR*），在校正地区、性别等因素后评价 1～4 剂 DTaP 预防百日咳及住院的 VE。**结果**　甘肃省 2 岁及以下婴幼儿 1～4 剂次 DTaP 接种率分别为 92.88%、91.15%、89.22%、41.96%。预防百日咳的 VE 分别为 43.67%（95%*CI*=39.60%～55.21%）、71.30%（95%*CI*=50.13%～79.96%）、90.91%（95%*CI*=88.82%～92.68%）、99.20%（95%*CI*=77.91%～99.80%）；预防百日咳住院的 VE 分别为 56.14%（95%*CI*=18.13%～77.80%）、63.90%（95%*CI*=22.71%～85.46%）、73.02%（95%*CI*=58.10%～82.34%）、94.40%（95%*CI*=64.32%～98.70%）。**结论**　DTaP 对甘肃省 2 岁及以下婴幼儿的百日咳及其导致的住院具有保护效果，且保护效果随接种剂次增加而增强。应大力提升 DTaP 基础免疫及时率与加强免疫接种率。

【关键词】无细胞百白破疫苗（DTaP）；疫苗保护效果（VE）；剂量依赖性；婴幼儿；回顾性队列研究；甘肃省

Protective effectiveness of acellular diphtheria-tetanus-pertussis vaccine against pertussis in infants and young children aged 2 years and under in Gansu province: a retrospective cohort study based on population-based surveillance data

JIAO Yongzhuo, AN Jing, LIU Shuyu, LIANG Xuefeng, ZHANG Xiaoshu (*Gansu Provincial Center for Disease Control and Prevention*, *Lanzhou* 730000, *China*)
Corresponding author: ZHANG Xiaoshu, E-mail: zhxx@126.com

【Abstract】Objective　To evaluate the vaccine effectiveness (VE) of the adsorbed acellular diphtheria-tetanus-pertussis (DTaP) vaccine in infants and young children aged 2 years and under in Gansu province, thereby providing evidence for optimizing the immunization strategies for pertussis in underdeveloped western regions of China. **Methods** A retrospective cohort was established, including 176 688 resident children born in Gansu province from January 1 to December 31, 2023. The Poisson regression model was adopted to calculate the relative risk (*RR*) for evaluating the VE of 1–4 doses of DTaP vaccine against pertussis and pertussis-related hospitalization, after adjusting for factors such as region and sex. **Results**　The coverage rates of the 1st to 4th doses of DTaP vaccine among infants and young children aged 2 years and under in Gansu province were 92.88%, 91.15%, 89.22%, and 41.96%, respectively. The VE of the 1st to 4th doses against pertussis was 43.67% (95%*CI*: 39.60%–55.21%), 71.30% (95%*CI*: 50.13%–79.96%), 90.91% (95%*CI*: 88.82%–92.68%), and 99.20% (95%*CI*: 77.91%–99.80%), respectively. The VE of the 1st to 4th doses against pertussis-related hospitalization was 56.14% (95%*CI*: 18.13%–77.80%), 63.90% (95%*CI*: 22.71%–85.46%), 73.02% (95%*CI*: 58.10%–82.34%), and 94.40% (95%*CI*: 64.32%–98.70%), respectively. **Conclusions**　The DTaP vaccine provides significant protection against pertussis and pertussis-related hospitalization in infants and young children aged 2 years and under in Gansu province in a dose-dependent manner. Efforts should focus on improving the timeliness of primary immunization and the coverage of booster doses.

【Keywords】 acellular diphtheria-tetanus-pertussis vaccine; vaccine effectiveness; dose dependence; infants and young children; retrospective cohort study; Gansu province

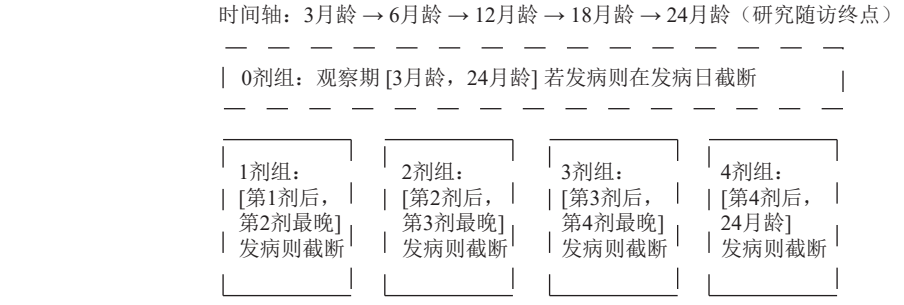
开放获取：CC BY-NC-ND 4.0　DOI：10.11847/zgggws1149456
第一作者：焦永卓（1986—），副主任医师，硕士，研究方向：传染性疾病控制。
收稿日期：2025-12-03　修回日期：2026-01-18　录用日期：2026-04-11
利益冲突：不存在　伦理审查：已获取　出版授权：全体作者已与编辑部签署作者贡献声明及版权转让协议

百日咳是由百日咳鲍特菌引起的急性呼吸道传染病[1]，曾是全球婴幼儿死亡的主要原因之一[2]。自 2007 年起，我国将无细胞百白破疫苗（DTaP）纳入国家免疫规划，适龄儿童接种率持续保持在较高水平。然而，2015 年以来我国百日咳发病率呈现回升态势[3–5]，婴幼儿重症及死亡风险尤为突出[6]。甘肃省地处西部，经济与卫生资源分布不均，评估 DTaP 在适龄儿童中的保护效果，对于巩固免疫屏障、优化资源分配至关重要。本研究基于甘肃省全人群数据，旨在评价 DTaP 对 2 岁及以下婴幼儿的保护效果，以期为区域免疫策略的制定提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 *资料来源* 研究对象为甘肃省 2023 年 1 月 1 日—2023 年 12 月 31 日出生儿童。从甘肃省免疫规划信息系统（系统中 2023 年出生儿童建卡数占甘肃统计年鉴出生人口数的 98.89%）获取研究对象接种个案信息，从甘肃省免疫规划系统的百日咳专病模块获取研究对象百日咳病例个案信息，2 个系统个案导出的时间均为 2025 年 5 月 25 日，个案导出条件均为出生日期为 2023 年 1 月 1 日—2023 年 12 月 31 日。来自 2 个系统的研究对象个案信息通过婴幼儿身份信息/父母身份证号关联，在数据获取和处理过程中，对个人隐私信息进行匿名化处理并严格保密。本研究经甘肃省疾病预防控制中心伦理委员会审查批准（甘疾伦 2026 年第〔003〕号）。诊断标准依据《百日咳诊疗方案（2023 年版）》[7]；纳入标准：（1）甘肃省 2023 年出生的常住儿童；（2）在甘肃省免疫规划系统中有完整的建卡与接种信息。排除标准：（1）接种过 DTaP-Hib 四联或 DTaP-IPV-Hib 五联疫苗者；（2）在 3 月龄前曾确诊百日咳者。最终共 176 688 名儿童纳入分析。

1.2 *研究方法*（图 1） 以所有研究对象的数据构建回顾性队列，采用剂次依赖的动态观察时间框架，用以近似估算各种接种剂次状态下的暴露时间。图 1 所示的时间段在横轴上存在先后关系，但对于每一个具体的研究对象，其在队列中的暴露时间是根据实际的接种日期被精确划分到唯一的剂次组中。例如，一名儿童在接种第 2 剂次后，其观察时间即从第 1 剂次组转移到第 2 剂次组，不会在 2 组中重复计算。每名研究对象的暴露人日随其接种状态的改变而动态划分。考虑到疫苗产生有效免疫保护所需的时间，本研究设定了 14 d 的免疫建立期。即在接种后 14 d 内发生的百日咳病例，其暴露人日仍计入上一剂次（或未接种）组，病例不计入本剂次的保护效果分析。此外，由于回顾性研究难以精确获知感染时间，本研究统一以百日咳的发病日期作为分析的基准时间。



注：各剂次观察期衔接，覆盖从基础免疫到加强免疫的全周期，暴露人日数为各区间实际天数之和（扣除发病后时间）

图 1 剂次依赖的动态观察时间框

Fig. 1 Dose-dependent dynamic observation time framework

1.2.1 观察期 2024 年 1 月 1 日—12 月 31 日。自 2024 年 1 月 1 日起所有纳入队列的研究对象均进入观察期，观察终点分别为患百日咳（以发病日期计）、死亡或到达 2024 年 12 月 31 日。

1.2.2 暴露人日计算 在动态观察框下（图 1），研究对象在发病日即退出队列，其暴露时间计算至发病前一日，发病后的时间不计入暴露人日，以确保暴露时间仅反映发病前的风险暴露状态。假设每月 30 d 以标准化计算暴露人日数，观察期内接种 DTaP 的研究对象为暴露组，未接种的为非暴露组。

1.2.3 DTaP 免疫接种率 基础免疫接种率为完成 3 剂次 DTaP 接种的适龄儿童占应种人数的比例，加强免疫接种率为完成 4 剂次 DTaP 接种的适龄儿童占应种人数的比例。发病密度是指单位人日内的发病人数（/10 万人日）。

1.3 *统计分析* 使用 R 4.4.1 软件进行数据分析。采用频数与构成比描述计数资料。以多变量 Poisson 回归模型计算接种 1～4 剂 DTaP 相对于未接种的风险比（relative risk, *RR*）值及其 95% 置信区间，将地区（市、州）和性别作为协变量纳入模型分析。保护效果（vaccine effectiveness, VE）计算公式为：

VE=(1−*RR*)×100%，检验水准 α=0.05(双侧)。

2 结　果

2.1　基本情况(表 1)　共纳入 176 688 名儿童，均在系统中获得有效身份信息，将纳入对象的 DTaP 接种记录与百日咳发病情况匹配。队列人口占比居前 3 位的为兰州市(13.26%)、临夏州(12.85%)和天水市(10.61%)。全省 DTaP 第 1～4 剂次接种率分别为 92.88%、91.15%、89.22%、41.96%，由于队列人群年龄≤2 岁，部分对象尚未达到接种年龄，即使达到第 4 剂接种年龄的应种儿童(达到第 4 剂接种年龄且与第 3 剂的接种间隔≥6 个月)加强免疫接种率也仅为 56.09%(132 163 人)。不同市、州的基础免疫接种率和加强免疫接种率呈现一定的分布不均，其中基础免疫接种率为 82.06%～95.11%，加强免疫接种率为 35.28%～49.85%。

表 1　甘肃省各市、州≤2 岁婴幼儿 DTaP 接种情况
Table 1　DTaP vaccination coverage among infants and young children aged 2 years and under by city (prefecture) in Gansu province

市、州	队列人口/人	接种剂次/人					基础免疫接种率/%	加强免疫接种率/%
		0	1	2	3	4		
天水市	18 749	421	18 328	18 084	17 832	8 383	95.11	44.71
临夏州	22 709	628	22 081	21 578	21 126	10 799	93.03	47.55
嘉峪关市	2 361	122	2 239	2 195	2 186	1 177	92.59	49.85
定西市	18 221	898	17 323	17 085	16 832	8 403	92.38	46.12
酒泉市	6 142	413	5 729	5 683	5 665	2 970	92.23	48.36
甘南州	7 817	326	7 491	7 332	7 078	3 099	90.55	39.64
陇南市	18 004	1 090	16 914	16 495	15 970	6 351	88.70	35.28
兰州市	23 434	2 367	21 067	20 852	20 693	8 929	88.30	38.10
平凉市	12 356	954	11 402	11 176	10 771	4 554	87.17	36.86
庆阳市	16 040	1 672	14 368	14 077	13 736	6 397	85.64	39.88
金昌市	2 689	359	2 330	2 302	2 294	1 310	85.31	48.72
白银市	10 677	954	9 723	9 477	9 036	3 925	84.63	36.76
张掖市	7 779	991	6 788	6 577	6 454	3 469	82.97	44.59
武威市	9 710	1 382	8 328	8 141	7 968	4 364	82.06	44.94
合计	176 688	12 577	164 111	161 054	157 641	74 130	89.22	41.96

2.2　百日咳病例特征(表 2)　研究期间共随访到百日咳病例 525 例，无死亡病例；男女性别比为 1.34:1；实验室确诊病例占 91.60%，其余均为临床诊断病例；住院病例占 22.48%，病例主要集中在 3～8 月龄(55.24%)。病例的免疫史分布与月龄相关，3.5～<6.0 月龄组以无免疫史为主(61.31%)，而 6.0～<18.0 月龄和 18.0～24.0 月龄组则以完成 3 剂次免疫者为主(分别为 44.48% 和 75.00%)。

表 2　甘肃省不同月龄≤2 岁婴幼儿百日咳病例免疫剂次分布
Table 2　Distribution of pertussis cases by age group and number of DTaP doses received among infants and young children aged 2 years and under in Gansu province

分组/月龄	总病例数	0剂次		1剂次		2剂次		3剂次		4剂次	
		病例数	构成比/%	病例数	构成比/%	病例数	构成比/%	病例数	构成比/%	病例数	构成比/%
3.5～<6.0	202	122	60.40	72	35.64	8	3.96	0	0.00	0	0.00
6.0 ～<18.0	299	90	30.10	45	15.05	31	10.37	133	44.48	0	0.00
18.0～24.0	24	3	12.50	0	0.00	0	0.00	18	75.00	3	12.50
合计	525	215	40.95	117	22.29	39	7.43	151	28.76	3	0.57

2.3　DTaP 保护效果

2.3.1　预防百日咳发病的 VE(表 3)　DTaP 预防发病的 VE 随剂次递增显著提升，分别为 1 剂次 43.67%(95%*CI*=39.60%～55.21%)、2 剂次 71.30%(95%*CI*=50.13%～79.96%)、3 剂次 90.91%(95%*CI*=88.82%～92.68%)、4 剂次 99.20%(95%*CI*=77.91%～99.80%)。发病密度同步下降，分别为 0 剂次组 2.81/10 万人日，1 剂次组 1.58/10 万人日，2 剂次组 0.81/10 万人日，3 剂次组 0.26/10 万人日，4 剂次组 0.02/10 万人日。

表 3 甘肃省≤2 岁婴幼儿接种不同剂次 DTaP 预防百日咳发病的效果比较
Table 3 Effectiveness of different doses of DTaP vaccine in preventing pertussis among infants and young children aged 2 years and under in Gansu province

剂次	暴露人日	病例数/例	发病密度/(/10万人日)	*RR*(95%*CI*)	*Z*值	*P*值	VE(95%*CI*)/%
0	7 645 258	215	2.81	1.00	—	—	—
1	7 385 422	117	1.58	0.56(0.45～0.69)	−5.00	0.000	43.67(39.60～55.21)
2	4 832 351	39	0.81	0.29(0.21～0.40)	−7.17	0.000	71.30(50.13～79.96)
3	59 084 874	151	0.26	0.09(0.08～0.11)	−22.59	0.000	90.91(88.82～92.68)
4	13 343 321	3	0.02	0.01(0.00～0.02)	−8.31	0.000	99.20(77.91～99.80)

2.3.2 预防百日咳住院的 VE(表 4) 预防住院的 VE 呈剂量依赖性，分别为 1 剂次 56.14%(95%*CI*=18.13%～77.80%)、2 剂次 63.90%(95%*CI*=22.71%～85.46%)、3 剂次 73.02%(95%*CI*=58.10%～82.34%)、4 剂次 94.40%(95%*CI*=64.32%～98.70%)。住院密度从 0 剂次组 0.40/10 万人日降至 4 剂次组 0.02/10 万人日。

表 4 甘肃省≤2 岁婴幼儿接种不同剂次 DTaP 预防百日咳住院的效果比较
Table 4 Effectiveness of different doses of DTaP vaccine in preventing pertussis-related hospitalization among infants and young children aged 2 yearsand under in Gansu province

剂次	暴露人日	住院病例数/例	发病密度/(/10万人日)	*RR*(95%*CI*)	*Z*值	*P*值	VE(95%*CI*)/%
0	7 725 326	31	0.40	1.00	—	—	—
1	7 385 719	13	0.18	0.44(0.24～0.81)	−2.49	0.013	56.14(18.13～77.80)
2	4 831 853	7	0.15	0.36(0.15～0.85)	−2.44	0.015	63.90(22.71～85.46)
3	59 104 667	64	0.11	0.27(0.18～0.41)	−5.99	0.000	73.02(58.10～82.34)
4	13 343 321	3	0.02	0.06(0.02～0.20)	−4.77	0.000	94.40(64.32～98.70)

3 讨 论

本研究基于人群水平的监测数据，通过回顾性队列研究设计，评估了 DTaP 疫苗对 2 岁及以下婴幼儿百日咳发病及其住院病例的保护效果。结果显示，DTaP 疫苗在 2 岁及以下婴幼儿中呈现出良好的保护效果，尤其对于预防重症具有重要意义；另外，疫苗的保护效果随着接种剂次的增加显著上升，完成 3 剂次基础免疫与 4 剂次全程免疫后的保护效果分别达到 90.91% 与 99.20%。这为 DTaP 疫苗全程接种的必要性提供了有力的证据。此外，百日咳病例主要集中在 3～8 月龄(55.24%)，其中 3.5～<6.0 月龄组病例中无免疫史者占比高达 61.31%。提示尽管甘肃省首剂 DTaP 接种率较高(92.88%)，但首剂接种时间是否及时、能否在暴露高峰前建立有效免疫保护，仍是小月龄婴幼儿发病风险的重要影响因素。

本研究发现，与基础 3 剂次接种后的效果相比，加强剂次对百日咳发病和住院的预防效果更为显著，与山东省的一项队列研究结果相似[8]，也与国内外多项研究结论相近。有研究表明，北京市、广东省、山东省等地开展的儿童接种后保护效果的病例对照研究显示，完成 3 剂次 DTaP 基础免疫对百日咳的保护效力达 90% 以上[9−12]；武汉市开展的一项病例对照研究显示，在 10 岁及以下儿童中接种 1 剂次、2 剂次、3 剂次和 4 剂次百白破疫苗的 VE 分别为 79.9%、92.2%、94.6% 和 99.2%[13]。美国一项 1:5 的匹配病例对照研究显示，4 剂次 DTaP 的 VE 可达 97.7%[14]。瑞士的一项病例队列研究结果表明，在 2 岁以下婴幼儿中，基础免疫对预防百日咳住院的保护效果优于加强免疫[15]。甘肃省 2 岁及以下婴幼儿的加强免疫接种率偏低，部分原因为近 1/4 婴幼儿(44 509 人)截至数据导出时间尚未达到第 4 剂次 DTaP 的接种年龄，达到第 4 剂次接种年龄的婴幼儿加强免疫接种率也仅为 56.09%，表明延迟接种情况比较严重。甘肃省 2024 年一项接种率专项调查结果表明，监护人因时间冲突、对接种程序不了解或儿童临时患病而推迟接种，是影响及时接种的常见原因，提示家长依从性可能不足。更值得注意的是，本研究发现，6～<18 月龄病例中，已完成 3 剂次基础免疫的“突破性感染”占比达 44.48%。这可能与婴幼儿随年龄增长活动范围扩大、暴露风险增高有关，此时基础免疫提供的保护可能不足以阻断感染，这也反映出及时加强免疫以巩固和提升免疫水平的重要性。

本研究发现，在完成 1～3 剂次 DTaP 接种后，疫苗预防百日咳发病的 VE 点估计值均高于预防百日咳住院的 VE，这一现象与通常的理论预期有所不同。可能由以下原因所致：(1)病例定义的差异。“发病”病例包含了所有实验室确诊的百日咳病例，其中大部分为轻症；而“住院”病例均为重症，其数量远少于“发病”病例。较少的住院病例数可能导致 VE 估计值的置信区间更宽，估计

稳定性较差。(2)可能存在诊断和收治偏倚。已接种疫苗的婴幼儿若发生百日咳，症状可能较轻，但警惕性高的家长或医生仍会对其进行实验室检测，导致病例被纳入“发病”组；然而，只有当病情确实严重时才会住院。相反，未接种疫苗的婴幼儿发生重症百日咳的风险更高，更易达到住院标准。这种非差分(对于发病)和差分(对于住院)可能导致了防住院 VE 被低估。(3)从免疫学角度看，DTaP 诱导的系统性 IgG 抗体对于中和血液和深部组织(如肺部)中的百日咳鲍特菌效果显著[16]。因此，在本研究中观察到了 4 剂次接种后极高的防住院效果(94.40%)。但对于上呼吸道黏膜感染的预防，系统免疫的作用相对有限。后续研究需要更大的样本量，特别是对重症病例的持续监测，以更精确地评估 DTaP 对不同临床严重程度终点的影响。

另外，本次研究中 2 岁及以下婴幼儿百日咳病例主要集中在 3～8 月龄(55.24%)，且小月龄婴幼儿也是百日咳重症高风险人群。有研究表明，孕期接种预防百日咳的疫苗可以有效降低新生儿百日咳感染率[17]。可参考国际成功经验，推动育龄期妇女孕期接种 TDAP 疫苗策略的论证与实施，为无法通过自身接种获得及时保护的婴幼儿提供被动免疫。值得关注的是，我国已于 2025 年将百白破疫苗基础免疫首剂接种时间从 3 月龄提前至 2 月龄。这项关键调整旨在让婴幼儿在 3 月龄前就建立起初步免疫屏障，直接针对并有望削减本研究发现的小月龄发病高峰。新程序通过更早提供保护，理论上能显著降低 3 月龄内婴儿的感染与重症风险。未来，需重点监测新程序在该人群中的保护效果，特别是评估其对 2～3 月龄婴儿发病率的影响，与本研究基线数据比较，以验证策略调整的有效性，并为后续免疫程序优化提供科学依据。

本研究存在一定的局限性。首先，采用的剂次依赖动态观察时间框架虽能更精确地匹配不同接种状态下的暴露风险，但在计算上较为复杂，且可能引入一定的错分偏倚。其次，受限于回顾性数据，尽管已校正地区和性别，但仍可能存在其他未测量的混杂因素(如家庭、社会经济状况等)对 VE 估计产生潜在影响。

综上所述，DTaP 对 2 岁及以下婴幼儿百日咳发病及住院具有良好的保护效果。当前工作重点应是全力保障新免疫程序(2、4、6、18 月龄及 6 周岁)各剂次，尤其是首剂和加强剂的及时接种。同时，应前瞻性探索孕妇接种等补充策略，构建立体防控体系。未来需持续监测新程序效果及疫苗免疫持久性，为优化防控策略提供循证依据。

数据可用性声明　本研究所使用的个体水平回顾性数据(包括 176 688 名婴幼儿的疫苗接种记录与百日咳病例信息)来源于甘肃省免疫规划信息系统，包含受法律和伦理保护的个人隐私与健康信息。因此，原始数据不公开存储。在遵守保密协议并获得甘肃省疾病预防控制中心伦理委员会批准的前提下，用于验证本研究结果的合理数据请求，可向通信作者或甘肃省疾病预防控制中心提出。

参考文献

[1] 李兰娟, 任红. 传染病学 [M]. 8 版. 北京: 人民卫生出版社, 2013: 200-203.
[2] World Health Organization. Pertussis vaccines: WHO position paper-September 2015[J]. Releve Epidemiologique Hebdomadaire, 2015, 90(35): 433-458.
[3] 向泉, 刘娟, 王雷, 等. 2016—2021 年湖北省百日咳流行病学特征分析 [J]. 公共卫生与预防医学, 2024, 35(2): 87-90.
[4] 宁桂军, 高源, 吴丹, 等. 中国 2011—2017 年百日咳流行病学特征分析 [J]. 中国疫苗和免疫, 2018, 24(3): 264-267,273.
[5] 张倩, 吴丹, 郑徽, 等. 中国 2022 年百日咳流行病学特征 [J]. 中国疫苗和免疫, 2024, 30(1): 34-38.
[6] 姚开虎, 李丽君. 重症百日咳的诊断及其死亡风险因素研究进展 [J]. 中华实用儿科临床杂志, 2019, 34(22): 1681-1685.
[7] 国家卫生健康委员会, 国家中医药管理局. 百日咳诊疗方案 (2023 年版)[J]. 国际流行病学传染病学杂志, 2024, 51(1): 1-3.
[8] Zhu P P, Wu D, Wang Y, et al. Effectiveness of DTaP against pertussis in ≤2-year-old children-Linyi prefecture, Shandong province, China, 2017–2019[J]. China CDC Weekly, 2023, 5(17): 374-378.
[9] 贾哲, 李臻, 胡莹雪, 等. 北京市朝阳区无细胞百日咳疫苗预防 3 月龄～10 岁儿童实验室确诊百日咳保护效果的病例对照研究 [J]. 中国疫苗和免疫, 2025, 31(2): 215-219.
[10] 邬辉, 郭世成, 刘杰, 等. 2020—2023 年江西省百日咳流行特征及免疫效果分析 [J]. 中华流行病学杂志, 2025, 46(6): 973-978.
[11] 李文豪, 邱春红, 彭远舟, 等. 深圳市 4 月龄～6 岁儿童百日咳疫苗保护效果的配对病例对照研究 [J]. 中国疫苗和免疫, 2022, 28(5): 525-528.
[12] 李玉峰. 聊城市儿童百日咳疫苗保护效果的病例对照研究 [D]. 北京: 中国疾病预防控制中心, 2018.
[13] 夏爽, 汪鹏, 明方钊, 等. 武汉市 10 岁及以下儿童接种百日咳疫苗的有效性 [J]. 现代预防医学, 2024, 51(19): 3540-3544.
[14] Bisgard K M, Rhodes P, Connelly B L, et al. Pertussis vaccine effectiveness among children 6 to 59 months of age in the United States, 1998–2001[J]. Pediatrics, 2005, 116(2): e285-e294.
[15] Mack I, Erlanger T E, Lang P, et al. Dose-dependent effectiveness of acellular pertussis vaccine in infants: a population-based case-control study[J]. Vaccine, 2020, 38(6): 1444-1449.
[16] Warfel J M, Edwards K M. Pertussis vaccines and the challenge of inducing durable immunity[J]. Current Opinion in Immunology, 2015, 35: 48-54.
[17] 张延炀, 刘迎迎, 李军, 等. 青少年及成人百日咳流行现况及疫苗免疫策略 [J]. 现代疾病预防控制, 2025, 36(4): 242-249.