

反向计算法估计红河哈尼族彝族自治州 HIV 新发感染趋势

唐林 凌倩 陈方方 李培龙 葛琳 蔡畅 汤后林 吕繁 李东民
中国疾病预防控制中心性病艾滋病预防控制中心流行病学室, 北京 102206
通信作者: 李东民, Email: lidongmin@chinaaids.cn

【摘要】 目的 根据 HIV/AIDS 的 CD₄⁺ T 淋巴细胞计数(CD₄)的变化规律, 估计红河哈尼族彝族自治州(红河州)HIV 新发感染者数, 为评估当地的疫情流行趋势提供依据。方法 利用红河州 HIV/AIDS 抗病毒治疗前 CD₄ 数据, 建立 CD₄ 平方根与感染时间的消除模型, 反向估计 HIV 感染者的感染时间, 并利用直接概率法和寿命表法计算累计诊断率分布以及诊断延误权重, 推算研究地区历年 HIV 新发感染者数。结果 截至 2018 年 12 月 31 日, 估计红河州 HIV 感染者数为 35 977 例, 诊断发现率约为 77.50%, 其中 2008—2018 年 HIV 感染者数为 23 792 例, 从 2008 年的 2 602 例逐年下降至 2018 年的 1 480 例, 2007 年及以前的新感染 HIV 人数为 12 185 例; 其诊断延误权重从 1 年内的 5.49 下降至 20 年内的 1.00, 诊断率从 1 年的 18.2% 上升至 20 年的 100.0%。结论 红河州 HIV 新发感染者数呈逐年下降趋势, 诊断发现率距“第一个 90%”目标仍有差距, 扩大检测及时发现隐藏的 HIV 感染者有助于降低 HIV 传播风险。

【关键词】 CD₄⁺T 淋巴细胞; 反向计算法; 诊断延误权重; 艾滋病病毒; 新感染者

基金项目: 国家科技重大专项 (2017ZX10201101-002-005)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200317-00369

Estimation of newly HIV infection trend by using the back-calculation method in Honghe Hani and Yi autonomous prefecture

Tang Lin, Ling Qian, Chen Fangfang, Li Peilong, Ge Lin, Cai Chang, Tang Houlin, Lyu Fan, Li Dongmin
Department of Epidemiology, National Center for AIDS/STD Control and Prevention, Chinese Center for Disease Control and Prevention, Beijing 102206, China
Corresponding author: Li Dongmin, Email: lidongmin@chinaaids.cn

【Abstract】 Objective Using the changing patterns of CD₄⁺ lymphocytes (CD₄) counts of HIV/AIDS cases, we tried to estimate the number of newly infected HIV in Honghe Hani and Yi autonomous prefecture (Honghe prefecture) Yunnan province, and to provide reference for evaluating the trend of local HIV epidemic. **Methods** Among diagnosed HIV infections, those who were at ≥ 15 years old, having available initial CD₄ records of testing, initiating antiviral therapy before the end of 2018, were selected from the case reporting system of Honghe prefecture, Yunnan province. Both Depletion model of the square root on CD₄ and the time of infection were used to back-calculate the seroconversion time of each individual. Both direct probability distribution method and life table method were used to calculate the distribution rates of diagnosis and the weight of delay. The number of diagnoses over the years was used to reversely estimate the total number of newly HIV infections. **Results** At the end of 2018, the total number of HIV infections was estimated 35 977 with the rate of diagnosis as 77.50% in Honghe prefecture of Yunnan province. The number of new HIV infections appeared as 23 792 in 2008–2018. Cumulatively, the number of new HIV infections was 12 185 up to 2007. The estimated number of new HIV infections decreased from 2 602 in 2008 to 1 480 in 2018. The weight of diagnostic delay decreased from 5.49 in one year to 1.00 in 20 years, and the diagnosis rate increased from 18.2% to 100.0% during 20 years. **Conclusion** In Honghe prefecture of Yunnan province, the number of newly infection showed a declining trend but the diagnostic rate was still far from reaching the “first 90% target”. It is expected to expand the timeliness on detection and case-finding so as to reduce the risk of HIV transmission.

【Key words】 CD₄⁺ lymphocytes; Back-calculation method; Diagnosis delay weight; HIV; Newly infection

Fund program: National Science and Technology Major Project of China (2017ZX10201101-002-005)

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20200317-00369

国内外学者围绕艾滋病疫情的估计与预测先后提出若干推算方法,如基于病例报告数据的反向算法(Back-calculation method)^[1-2],基于人群规模和感染率调查数据的Spectrum/EPP法^[3-5],基于行为学数据的亚洲艾滋病流行模型(AEM)等方法^[6]。这些艾滋病疫情估计方法均有一个核心任务,即估计出HIV新发感染者数,对HIV的流行趋势做出研判^[7];目前,全球应用最广泛的疫情估计方法主要是联合国艾滋病规划署推荐的Spectrum/EPP模型^[8],我国自2015年开始在部分省份进行试点估计,2018年作为主要的疫情估计方法在国家层面推广使用,但由于模型内置参数设置较多,参数来源有限,在地(市)级疫情估计方面应用较少^[7,9]。相对于Spectrum/EPP方法,基于病例报告数据的反向算法原理相对简单,并随着抗病毒治疗的推广,反向算法进行了调整,关键参数由确诊为艾滋病的日期调整为抗病毒治疗前首次CD₄+T淋巴细胞计数(CD₄)检测日期^[10],为HIV/AIDS感染日期估计提供关键信息。

红河哈尼族彝族自治州(红河州)自1995年首次在吸毒人群中发现HIV/AIDS后,病例报告数不断增加,成为云南省艾滋病疫情最严重的地区之一^[11-12]。本研究利用红河州截至2018年12月31日HIV/AIDS报告数据,基于首次CD₄反向估计红河州HIV新发感染者数,为当地HIV的流行趋势和防治效果评价提供依据。

资料与方法

1. 资料来源:我国艾滋病综合防治基本信息系统截至2018年12月31日红河州HIV/AIDS,包括性别、出生日期、传播途径、首次CD₄及检测日期等相关变量。研究对象纳入标准:HIV/AIDS确诊时年龄≥15岁、有首次CD₄及检测日期。本研究已通过中国CDC性病艾滋病预防控制中心伦理委员会批准(审批号:X190311565)。

2. 研究方法:

(1)模型参数选择:主要引用了全国HIV/AIDS的CD₄消除模型参数,作为红河州HIV感染日期反向估计的基础参数^[13]。

(2)估计报告病例的感染日期和感染者数^[2,14]:根据CD₄平方根与感染时间的线性关系, $\sqrt{CD_4(T_i)} = a_i + (b_i \times T_i) + e_{i1}$,其中 T_i 为HIV感染日期到首次CD₄检测的时间间隔,推算 $T_i = \frac{\sqrt{\text{first}CD_4} - a_i}{b_i}$,从而推算报告病例的感染日期=首

次CD₄检测日期- T_i ;计算2008—2018年报告病例按诊断年份和估计感染年份的分布矩阵(表2),以及历年HIV新发感染被诊断发现的累计人数 $M(x)$ (如2008年HIV新发感染者数在2008—2018年逐年被诊断发现的累计人数, x 为感染年),作为下一步推算当年新发感染者数的基数。

(3)诊断延误权重 $W(x)$ 的计算:诊断延误指从HIV感染到诊断发现的时间间隔。感染HIV后的不同阶段被诊断发现的概率不同,诊断延误权重 $W(x) = 1/\text{累计诊断率}$ ^[15-16];第 n 年诊断概率指感染HIV后单位时间内被诊断发现的可能性;累计诊断率是指从感染HIV到某1个时点这一段时间内被诊断的可能性。

2种方法推算累计诊断率:①直接概率法:根据 T_i 的时间分布,其概率分布被称为诊断延误分布^[16],可以得出 n 年内被诊断发现的累计概率,即 n 年内的累计诊断率(表3);②寿命表法:根据 T_i 利用生存分析中寿命表方法,计算累计未诊断率的分布,进一步求得累计诊断率^[15](表4)。

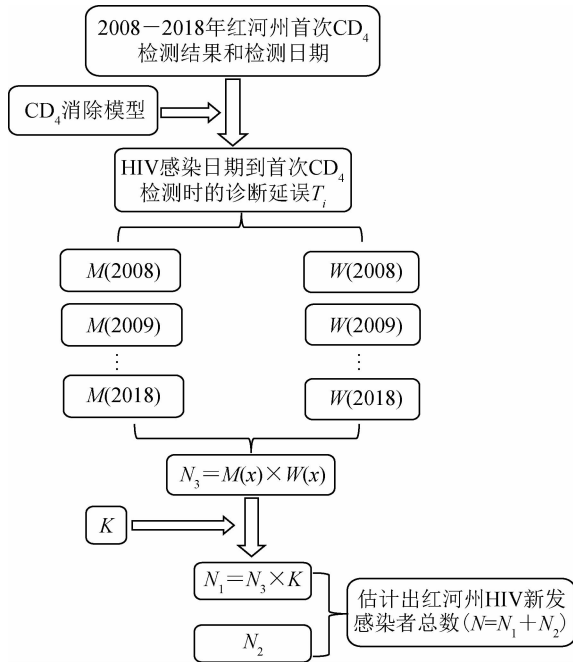
(4)2008—2018年HIV新发感染者数估计:历年HIV感染者逐年被发现的例数服从诊断延误概率分布,利用某年HIV新发感染者数到2018年12月31日已经被诊断发现的人数 $[M(x)]$,乘以历年到2018年12月31日诊断延误权重 $[W(x)]$,作为2008—2018年历年未经调整的HIV新发感染者数的粗估计值(N_3);最后根据各个年度纳入分析的数据缺失系数(K)调整得到各个年度HIV新发感染者数估计数(N_1)。

(5)2007年及以前的HIV新发感染者数估计^[2]:由于2007年及以前的HIV感染者信息缺乏有效的CD₄,难以利用CD₄消除模型和反向算法估计总的感染者数。计算需3个内容:①2007年及以前的病例报告数;②通过CD₄消除模型推算出2007年及以前感染者数在2008—2018年被发现的病例数;③根据2008—2018年病例报告数变化趋势和2007年及以前感染的,在2008—2018年被诊断发现病例占当年的全部诊断病例中的比例,分别拟合和预测2018年以后各年诊断发现病例数(H_i)和2007年及以前的HIV感染者在各个年度诊断病例中所占比例(R_i),进而根据 $u_i = R_i \times H_i$ 来推算2018年之后还未被诊断发现的2007年及以前的感染者数: $\sum_{i \geq 1} u_i$ 。

(6)累计HIV感染者数:2008—2018年的HIV新发感染者数和2007年及以前的HIV新发感染者数,合计为2018年底红河州HIV感染者总数。估计

流程见图 1。

结 果



注： $M(x)$ ：历年 HIV 新发感染者在 2018 年底被诊断发现人数； $W(x)$ ：历年的诊断延误权重； N_3 ：2008—2018 年 HIV 新发感染者数粗估计值； N_1 ：2008—2018 年历年 HIV 新发感染者数； N_2 ：2007 年及以前的 HIV 新发感染者数； K ：数据缺失系数； T_i ：HIV 感染日期到首次 CD_4 检测的时间间隔

图 1 红河哈尼族彝族自治州 HIV 新发感染总人数估计流程图

3. 统计学分析：采用 SAS 9.4 软件进行数据的整理与分析，采用 CD_4 消除模型反向计算感染日期，直接概率法和寿命表法分别计算累计诊断率以及诊断延误权重，反向算法估计红河州 HIV 新发感染者数。

1. 基本情况：2008—2018 年红河州共报告 HIV/AIDS 23 666 例，有首次 CD_4 值的病例数占历年报告病例数的 76.41% (18 084/23 666)，其倒数即数据缺失系数 $K=1.31 (K=n_1/n_2)$ ，其数值从 2008 年 1.58 下降至 2018 年的 1.17。见表 1。

2. 感染时间及其分布：根据首次 CD_4 及检测日期反向推算感染时间分布。见表 2。截至 2018 年 12 月 31 日，历年的 HIV 新发感染者数在 2018 年底已被诊断发现的例数从 2008 年的 1 432 [$M(2008)$] 例下降至 2018 年的 231 [$M(2018)$] 例。

3. 诊断延误权重：根据 CD_4 反向算法估计从感染到首次 CD_4 检测的时间 T_i ，并根据直接概率法和寿命表法分别计算的诊断延误权重相同，其中诊断延误权重分别从 1 年内的 5.49 下降至 20 年内的 1.00，诊断率分别从 18.2% 上升至 100.0%，即所有的 HIV 感染者在 20 年内完全被诊断发现。见表 3, 4。

4. 2008—2018 年 HIV 新发感染者数分布：估计 2008—2018 年红河州 HIV 新发感染的人数约为 23 792 例；HIV 新发感染者数分别从 2008 年的 2 602 例逐年下降至 2018 年的 1 480 例。见表 5。

5. 2007 年及以前的 HIV 新发感染者数估计：2007 年及以前的病例报告数为 4 215 例，根据 CD_4 消除模型反向估计 2007 年及以前感染者数在 2008 年之后被诊断发现的病例数为 7 633 例，经过线性模型推算，2018 年之后还未被发现的 2007 年及以前的感

表 1 2008—2018 年红河哈尼族彝族自治州 HIV/AIDS 报告数和有首次 CD_4^+ T 淋巴细胞计数的病例数

年份	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	合计
历年报告病例数(n_1)	1 807	1 843	1 881	2 192	2 260	1 963	2 327	2 311	2 348	2 351	2 383	23 666
有 CD_4 结果病例数(n_2)	1 144	1 098	1 281	1 740	1 686	1 518	1 721	1 884	1 972	1 998	2 042	18 084
$K=n_1/n_2$	1.58	1.68	1.47	1.26	1.34	1.29	1.35	1.23	1.19	1.18	1.17	1.31

表 2 2008—2018 年红河哈尼族彝族自治州有首次 CD_4 的 HIV/AIDS 估计感染者时间分布

报告年份	估计感染年份											合计	
	2007 及以前	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017		2018
2008	893	251	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 144
2009	790	78	230	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1 098
2010	869	96	76	240	-	-	-	-	-	-	-	-	1 281
2011	1 023	150	134	117	316	-	-	-	-	-	-	-	1 740
2012	828	146	139	111	129	333	-	-	-	-	-	-	1 686
2013	694	99	114	132	121	96	262	-	-	-	-	-	1 518
2014	674	132	132	134	141	135	102	271	-	-	-	-	1 721
2015	630	141	155	171	168	155	107	94	263	-	-	-	1 884
2016	539	122	166	184	195	175	141	132	94	224	-	-	1 972
2017	403	119	142	152	205	182	188	156	128	103	220	-	1 998
2018	290	98	141	154	171	184	219	177	151	121	105	231	2 042
合计	7 633	1 432	1 429	1 395	1 446	1 260	1 019	830	636	448	325	231	18 084

注：- 无数据

表3 2008—2018年红河哈尼族彝族自治州HIV/AIDS累计诊断率直接概率法分析

序号	t (年)	2008—2018年 t 分布	2008—2018年累计 t 分布 [$P(x)$ =累计诊断率]	诊断延误权重 $W[(x)=1/P(x)]$
1	0~	0.182	0.182	5.49
2	1~	0.064	0.247	4.06
3	2~	0.077	0.323	3.09
4	3~	0.083	0.406	2.46
5	4~	0.082	0.489	2.05
6	5~	0.080	0.568	1.76
7	6~	0.079	0.648	1.54
8	7~	0.067	0.714	1.40
9	8~	0.060	0.774	1.29
10	9~	0.052	0.826	1.21
11	10~	0.043	0.869	1.15
12	11~	0.037	0.906	1.10
13	12~	0.032	0.938	1.07
14	13~	0.022	0.961	1.04
15	14~	0.014	0.974	1.03
16	15~	0.011	0.985	1.02
17	16~	0.005	0.990	1.01
18	17~	0.004	0.995	1.01
19	18~	0.003	0.998	1.00
20	≥ 19	0.002	1.000	1.00

染者数为337例。因此,2007年及以前的HIV新发感染者数共计12 185例。

6. HIV新发感染者总数估计:截至2018年12月31日,估计红河州HIV新发感染者总数为35 977例,诊断报告数为27 881例,其诊断发现率为77.50%(27 881/35 977);2008—2018年HIV诊断报告数和新发感染者数趋势分布见图2,其中HIV新发感染者数呈现逐年下降趋势。

讨 论

最初的反向算法利用HIV/AIDS报告数据以及艾滋病潜伏期的概率分布,推算历年HIV新发感染者数^[17]。但随着抗病毒治疗的推广,病例生存时间延长,很多HIV感染者病程不再发展为艾滋病,以艾滋病发病为观察终点的评估方法已经不适用于HIV流行的评估^[10]。因此,国外学者根据CD₄的衰

表4 红河哈尼族彝族自治州HIV/AIDS诊断率寿命表分析

序号	时间(年) t_i	病例报告数 e_i	第 n 年诊断概率 q_i	诊断人数 $d_i=e_i \times q_i$	第 n 年未诊断概率 $p_i=1-q_i$	累计未诊断率 $S(t_i)$	$S(t_i)$ 标准误	累计诊断率 $P(x)=1-S(t_i)$	诊断延误权重 $W(x)=1/P(x)$
1	0~	18 084	0.182	3 294	0.818	0.818	0.002 9	0.182	5.49
2	1~	14 790	0.079	1 165	0.921	0.754	0.003 3	0.246	4.06
3	2~	13 625	0.102	1 385	0.898	0.677	0.003 7	0.323	3.10
4	3~	12 240	0.123	1 502	0.877	0.594	0.004 1	0.406	2.46
5	4~	10 738	0.139	1 491	0.861	0.511	0.004 4	0.489	2.05
6	5~	9 247	0.156	1 439	0.844	0.432	0.004 6	0.568	1.76
7	6~	7 808	0.184	1 434	0.816	0.353	0.004 7	0.647	1.54
8	7~	6 374	0.189	1 207	0.811	0.286	0.004 8	0.714	1.40
9	8~	5 167	0.208	1 076	0.792	0.226	0.004 9	0.774	1.29
10	9~	4 091	0.231	943	0.769	0.174	0.004 9	0.826	1.21
11	10~	3 148	0.249	784	0.751	0.131	0.004 9	0.869	1.15
12	11~	2 364	0.282	666	0.718	0.094	0.004 8	0.906	1.10
13	12~	1 698	0.343	583	0.657	0.062	0.004 8	0.938	1.07
14	13~	1 115	0.364	406	0.636	0.039	0.003 0	0.961	1.04
15	14~	709	0.346	245	0.654	0.026	0.004 1	0.974	1.03
16	15~	464	0.412	191	0.588	0.015	0.004 4	0.985	1.02
17	16~	273	0.352	96	0.648	0.010	0.004 5	0.990	1.01
18	17~	177	0.446	79	0.554	0.005	0.004 5	0.995	1.01
19	18~	98	0.561	55	0.439	0.002	0.004 2	0.998	1.00
20	≥ 19	43	1.000	43	0.000	0.000	0.000	1.000	1.00

表5 2008—2018年红河哈尼族彝族自治州HIV新发感染者数估计

感染年份	2008—2018年诊断报告发现人数											$M(x)$	$W(x)$	$N_3=M(x) \times W(x)$	K	$N_1=N_3 \times K$
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018					
2008	251	78	96	150	146	99	132	141	122	119	98	1 432	1.15	1 647	1.58	2 602
2009		230	76	134	139	114	132	155	166	142	141	1 429	1.21	1 730	1.68	2 904
2010			240	117	111	132	134	171	184	152	154	1 395	1.29	1 803	1.47	2 647
2011				316	129	121	141	168	195	205	171	1 446	1.40	2 024	1.26	2 550
2012					333	96	135	155	175	182	184	1 260	1.54	1 946	1.34	2 608
2013						262	102	107	141	188	219	1 019	1.76	1 793	1.29	2 319
2014							271	94	132	156	177	830	2.05	1 698	1.35	2 297
2015								263	94	128	151	636	2.46	1 566	1.23	1 920
2016									224	103	121	448	3.09	1 386	1.19	1 651
2017										220	105	325	4.06	1 318	1.18	1 551
2018											231	231	5.49	1 268	1.17	1 480
合计														18 180	1.31	23 792

注: $M(x)$:历年HIV新发感染者在2018年底被诊断发现人数; $W(x)$:历年的诊断延误权重; N_3 :2008—2018年HIV新发感染者数粗估计值; N_1 :2008—2018年历年HIV新发感染者数; K :数据缺失系数

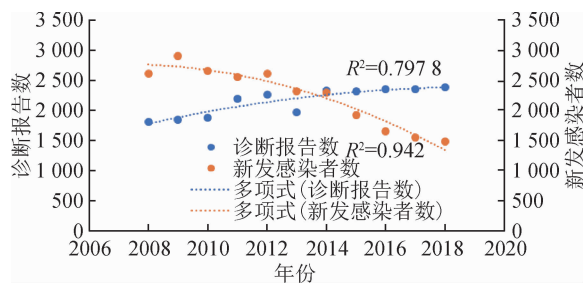


图2 2008—2018年红河哈尼族彝族自治州HIV诊断报告数和HIV新发感染者数趋势分布

减规律,提出了以HIV感染者诊断后的首次CD₄检测为观测指标,推算感染时间,进行HIV流行态势的评估^[18]。

本研究利用HIV/AIDS报告数据,反向推算2008—2018年红河州HIV新发感染者数,同时也对模型参数进行现场验证,结果表明,利用全国的CD₄消除模型参数应用于地(市)级的疫情估计是可行的,且由于模型纳入的数据为全国HIV/AIDS报告数据,模型参数估计结果更加稳定,故应用于地(市)级的疫情估计具有一定的参考意义。同时,红河州是我国艾滋病流行较早的地区,本研究根据研究地区病例报告数据质量和关键参数CD₄检测信息的完整情况,将整个HIV流行态势评估划分成了2个部分,即2007年及以前流行态势的评估和2008—2018年流行态势的评估。

在对2008—2018年HIV流行态势情况评估时,根据CD₄随感染时间衰减的规律,建立CD₄消除模型推算每个报告HIV感染者可能感染HIV的年份,将2008—2018年报告发现的HIV病例重新按照HIV感染年份分配到各个年度中;进而根据各个年度新感染HIV的病例在以后各年中被诊断出来的概率,即诊断权重的倒数,推算当年实际的新发感染者数;最后,考虑到病例报告数据质量的影响,研究根据数据处理过程中缺失系数(K)对新发感染者数进行了调整。由于2008年以前CD₄检测的比例较低,故2008年以前HIV感染者数的评估是基于2008—2018年估计结果进行线性外推^[18]。

本研究发现,截至2018年12月31日,估计红河州HIV新发感染者总数为35977例,HIV诊断发现率为77.50%。这与近年来云南省制定的防治政策以及措施有关,为实现“三个90%”目标,云南省不断加大HIV筛查力度,扩大检测覆盖面,再加上当地医务人员主动提供HIV检测咨询服务^[19-20],不断地检测出隐藏的HIV感染者,提高检测发现率,对降低该地的艾滋病传播风险具有促进作用;同时,估计的

2008—2018年HIV新感染者数也分别从2008年的2602例逐年下降至2018年的1480例,说明近年来红河州干预政策的落实,防治取得一定的效果,但距“第一个90%”目标仍存在一定的差距,应继续扩大检测。另外,2007年及以前的HIV新发感染者数,由于CD₄资料不完整,只能通过3个内容计算,粗略估计该时段HIV新发感染者总数,而对于流行趋势的判定尚存在一定的难度。

本研究采用首次CD₄作为观察终点反向估计感染日期,并将HIV感染到诊断的时间概率分布作为反推历年新发感染者数的依据,因此,对于首次CD₄值的选择主要集中于诊断日期以后6个月以内的值(80.5%);同时,由于CD₄消除模型本身存在不确定性,当诊断报告日期和首次CD₄检测日期相差较大时,模型反推结果将影响当年的新发感染者数,从而对整个疫情估计产生影响,故而在数据的筛选过程中,选择诊断报告日期与首次CD₄检测日期不超过6个月的数据,并剔除了CD₄>2000个/μl的异常值,以提高数据利用的可靠性。

本研究利用反向计算法和CD₄消除模型对地(市)级行政单位开展HIV流行态势的评估,受研究方法和数据质量的限制,研究存在以下局限:CD₄消除模型的主要参数,如截距(a_i)和斜率(b_i),分别借助了全国HIV/AIDS的CD₄随感染时间衰减的参数,由于各个流行人群特征的差异,这些参数在用于地(市)级艾滋病疫情估计中,可能会存在一定的偏倚;此外,2008年以前我国大部分地区CD₄检测并不普及,检测覆盖率较低,这使得本研究不得不将红河州HIV流行态势的评估划分成两个不同的阶段分别进行评估,这种划分影响了评估方法的一致性,也对参数评估产生一定影响。

综上所述,红河州HIV新发感染者数呈逐年下降趋势,诊断发现率距“第一个90%”目标仍有差距,扩大检测及时发现隐藏的HIV感染者有助于降低HIV传播风险。反向算法对掌握当地未被发现的HIV/AIDS具有一定的意义,为扩大检测和及早的发现隐藏感染者提供参考依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Wong NS, Wong KH, Lee MP, et al. Estimation of the undiagnosed intervals of HIV-infected individuals by a modified back-calculation method for reconstructing the epidemic curves [J]. PLoS One, 2016, 11 (7): e0159021. DOI: 10.1371/journal.pone.0159021.

- [2] Song RG, Hall HI, Green TA, et al. Using CD₄ data to estimate HIV Incidence, prevalence, and percent of undiagnosed infections in the United States[J]. *J Acquir Immune Defic Syndr*, 2017, 74(1):3-9. DOI: 10.1097/QAI.0000000000001151.
- [3] Mahy M, Penazzato M, Ciaranello A, et al. Improving estimates of children living with HIV from the spectrum AIDS impact model [J]. *AIDS*, 2017, 31 Suppl 1: S13-22. DOI: 10.1097/QAD.0000000000001306.
- [4] Stover J, Brown T, Puckett R, et al. Updates to the spectrum/estimations and projections package model for estimating trends and current values for key HIV indicators [J]. *AIDS*, 2017, 31 Suppl 1: S5-11. DOI: 10.1097/QAD.0000000000001322.
- [5] Brown T, Bao L, Eaton JW, et al. Improvements in prevalence trend fitting and incidence estimation in EPP 2013 [J]. *AIDS*, 2014, 28(4):S415-425. DOI: 10.1097/QAD.0000000000000454.
- [6] Thisyakorn U. Elimination of mother-to-child transmission of HIV: lessons learned from success in Thailand [J]. *Paediatr Int Child Health*, 2017, 37(2):99-108. DOI: 10.1080/20469047.2017.1281873.
- [7] 吕繁, 陈方方. 艾滋病疫情估计及结果解读要点[J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(10): 1191-1196. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.10.004.
- Lyu F, Chen FF. National HIV/AIDS epidemic estimation and interpretation in China [J]. *Chin J Epidemiol*, 2019, 40(10): 1191-1196. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.10.004.
- [8] 唐林, 孙坤, 陈方方, 等. 艾滋病疫情估计与预测方法研究进展 [J]. *中华流行病学杂志*, 2019, 40(6): 731-738. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.06.024.
- Tang L, Sun K, Chen FF, et al. Progress on estimation and projection of HIV epidemics [J]. *Chin J Epidemiol*, 2019, 40(6): 731-738. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2019.06.024.
- [9] Stover J. Projecting the demographic consequences of adult HIV prevalence trends: the Spectrum Projection Package [J]. *Sex Transm Infect*, 2004, 80 Suppl 1: i14-18. DOI: 10.1136/sti.2004.010157.
- [10] Fellows IE, Morris M, Birnbaum JK, et al. A new method for estimating the number of undiagnosed HIV infected based on HIV testing history, with an application to men who have sex with men in seattle/king county, WA [J]. *PLoS One*, 2015, 10(7): e0129551. DOI: 10.1371/journal.pone.0129551.
- [11] 戴建平, 李庆华, 端琼丽, 等. 红河州首次从娱乐场所外籍从业人员中检出 HIV 感染者 [J]. *疾病监测*, 2003, 18(1): 12-13. DOI: 10.3784/j.issn.1003-9961.2003.01.009.
- Dai JP, Li QH, Duan QL, et al. Honghe prefecture detected HIV-infected persons for the first time from foreign employees in entertainment establishments [J]. *Dis Surveill*, 2003, 18(1): 12-13. DOI: 10.3784/j.issn.1003-9961.2003.01.009.
- [12] 端琼丽, 张维义, 姚恩龙. 1998—2016年红河州 HIV/AIDS 病例死亡特征分析 [J]. *中国初级卫生保健*, 2018, 32(4): 49-51. DOI: 10.3969/j.issn.1001-568X.2018.04.0017.
- Duan QL, Zhang WY, Yao EL. Epidemiological characteristics of HIV/AIDS deaths in Honghe prefecture [J]. *Chin Prima Health Care*, 2018, 32(4): 49-51. DOI: 10.3969/j.issn.1001-568X.2018.04.0017.
- [13] 唐林, 凌倩, 吕繁, 等. 利用线性混合效应模型分析男男性行为人群中 HIV 疾病进程 [J]. *中华流行病学杂志*, 2020, 41(6): 861-865. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20190918-00679.
- Tang L, Ling Q, Lyu F, et al. Using linear mixed-effects model to analyze the progression of HIV disease, among men who have sex with men [J]. *Chin J Epidemiol*, 2020, 41(6): 861-865. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20190918-00679.
- [14] Lodi S, Phillips A, Touloumi G, et al. Time from human immunodeficiency virus seroconversion to reaching CD₄⁺ cell count thresholds <200, <350, and <500 Cells/mm³: assessment of need following changes in treatment guidelines [J]. *Clin Infect Dis*, 2011, 53(8): 817-825. DOI: 10.1093/cid/cir494.
- [15] Song RG, Green TA. An improved approach to accounting for reporting delay in case surveillance systems [J]. *JP J Biostatistics*, 2011, 7(1): 1-14.
- [16] Szwarcwald CL, Pascom ARP, de Souza Júnior PR. Estimation of the HIV incidence and of the number of people living with HIV/AIDS in Brazil, 2012 [J]. *J Aids Clin Res*, 2015, 6(3): 1000430. DOI: 10.4172/2155-6113.1000430.
- [17] Salomon JA, Murray CJ. Modelling HIV/AIDS epidemics in sub-Saharan Africa using seroprevalence data from antenatal clinics [J]. *Bull World Health Organ*, 2001, 79(7): 596-607.
- [18] Hall HI, Song RG, Szwarcwald CL, et al. Brief report: Time from infection with the human immunodeficiency virus to diagnosis, United States [J]. *J Acquir Immune Defic Syndr*, 2015, 69(2): 248-251. DOI: 10.1097/QAI.0000000000000589.
- [19] 霍俊丽, 施玉华, 李俊杰, 等. 云南省医务人员主动提供艾滋病检测咨询服务现状 [J]. *现代预防医学*, 2016, 43(4): 654-657.
- Huo JL, Shi YH, Li JJ, et al. The status of provider-initiated HIV testing and counseling in Yunnan province [J]. *Mod Prev Med*, 2016, 43(4): 654-657.
- [20] 单多, 段松, 高洁, 等. 我国某艾滋病高流行地区主动提供艾滋病检测咨询早期发现感染者状况分析 [J]. *中华预防医学杂志*, 2015, 49(11): 962-966. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.11.007.
- Shan D, Duan S, Gao J, et al. Analysis of early detection of HIV infections by provider initiated HIV testing and counselling in regions with high HIV/AIDS epidemic in China [J]. *Chin J Prev Med*, 2015, 49(11): 962-966. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-9624.2015.11.007.

(收稿日期: 2020-03-17)

(本文编辑: 斗智)