

中国婴儿死亡率发展趋势研究

——动态数列分析法的应用

李鸿斌

【摘要】文章利用中国 1991~2010 年监测地区婴儿死亡率数据,运用动态数列分析婴儿死亡率变化规律,预测未来发展趋势,并探索了监测评估标准。研究发现,“八五”、“十五”期间婴儿死亡率平均下降的绝对量较大,且农村平均下降的绝对量大于城市,肺炎、腹泻、痢疾等感染性疾病及出生窒息、神经管畸形、颅内出血等非感染性疾病的防治效果明显,对中国婴儿死亡率下降贡献较大。经综合分析比较,作者选择了婴儿死亡率最佳预测模型并预测了 2011~2020 年婴儿死亡率。文章认为,中国婴儿死亡率呈下降趋势,将从快速下降向缓慢下降转型,“十二五”期间是相对快速下降的机遇期,未来下降速度将渐趋缓慢,预测“十三五”后期开始将进入缓慢下降阶段。

【关键词】婴儿死亡率 动态数列 趋势预测 控制标准 评估

【作者】李鸿斌 江苏省如皋市妇幼保健所,副主任医师。

一、引言

近 20 多年来,中国婴儿死亡率总体上呈现下降趋势,但存在着明显的地区差异和城乡差异,与发达国家差距也十分明显(李鸿斌等,2012)。婴儿死亡率下降的规律、未来发展趋势、不同地区间婴儿死亡率下降速度的差异都是值得关注的问题。

在已有研究中,冯江等(2012)、黄燕等(2012)用下降幅度来描述婴儿死亡率的变化;邱琇等(2012)、吴朝霞等(2012)使用平均下降速度来分析,认为婴儿死亡率下降幅度、平均下降速度与基期水平及时期长短密切相关;赵莹、刘春艳(2012)、刘丽等(2013)运用死因顺位变化来表述主要死因的变动规律。冯江等(2012)分析比较了 2000 年与 2010 年中国前 10 种 5 岁以下儿童主要死因死亡率及构成比,仅从顺位的变化并不能识别不同疾病对婴儿死亡率下降的贡献大小。邱琇等(2012)、吕行等(2011)采用地区性人均 GDP 与婴儿死亡率关系以幂函数模型预测婴儿死亡率;郑海鸥、潘传波(2004)运用曲线拟合的方法选择对数模型预测地方性婴儿死亡率;刘娅等(2007)应用自回归移动平均模型预测婴儿死亡率。对于婴儿死亡率预测模型的选择有不同的方法和途径,在不同的预测模型中选择最佳模型的方法也

存在着差异。据测算,第六次人口普查的婴儿死亡漏报水平为78%(黄荣清、曾宪新,2013),在建立监测网络初期的补漏率为40%(全国5岁以下儿童死亡调查协作组,1994),而全国妇幼卫生监测办公室2006年规定死亡漏报率小于15%。监测地区婴儿死亡率是在国家级监测数据质量抽查3年平均移动漏报率校正的基础上,按2000年人口普查的城乡人口比例进行加权计算得到(冯江等,2012)。加强婴儿死亡监测质量控制,一方面要因地制宜制定婴儿死亡率阶段性期末控制标准,做好期末评估;另一方面要强化过程控制,做好年度质控评估,减少漏报、错报。阶段性控制标准大多是通过集体讨论依靠经验而制定,尚缺乏科学的方法,李鸿斌等(2010)通过趋势预测法、平均增长量法、校正平均增长量法探索制定了江苏省“十二五”期间婴儿死亡率建议控制标准,但对不同方法的局限性认识不足、适用范围尚不够明确。2006年《中国5岁以下儿童死亡监测方案》规定,质量要求包括完整率、错误率、漏报率、活产漏报率、诊断不明率、计算机录入错误率,质量检查内容包括漏报调查和监测表卡的质量检查,缺乏年度评估的具体指标。2013年《中国妇幼卫生监测工作手册》增加了评估的生命指标(出生率、年龄别死亡率、年龄别死因死亡率、儿童死亡年龄构成和死因构成、死亡下降率),但缺乏评估对照标准。

降低儿童死亡率是联合国确定的到2015年要实现的8项千年发展目标之一,鉴于中国婴儿死亡率存在着明显的地区和城乡差异,充分认识婴儿死亡率的发展变化规律,借鉴“六普”数据,分析影响婴儿死亡漏报的因素,及时因地制宜地调整防控措施,对于实现政府对国际社会的郑重承诺具有现实意义。本文借鉴研究经济现象的动态数列分析法(李洁明、祁新娥,2009),以中国1991~2010年监测地区婴儿死亡率为基础,运用发展水平与发展速度指标分析中国婴儿死亡率的变化规律,采用曲线拟合的方法寻找最佳模型,预测婴儿死亡率的未来发展趋势,探索年度监测评估方法,旨在促进婴儿死亡监测工作的科学化管理,为进一步制定更有针对性的降低婴儿死亡率的防控措施提供决策参考依据。

二、研究方法和数据来源

(一) 模型建立

本文运用发展水平与发展速度指标描述、分析婴儿死亡率。以时间为序编制动态数列: $y_1, y_2, y_3 \cdots y_{n-1}, y_n$, 分别对应于1, 2, 3...n-1, n年度的婴儿死亡率发展水平。平均增长量 = $\frac{y_n - y_1}{n-1}$; 平均发展速度 = $\sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_1}}$; 平均增长速度 = 平均发展速度 - 1。

本文运用曲线拟合的方法寻找婴儿死亡率动态模型。线性方程: $y_c = a + bt$, 其中 a 为截距, b 为直线斜率, 根据最小二乘法, 导出以下联立方程组:

$$\begin{cases} \sum y = na + b \sum t \\ \sum ty = a \sum t + b \sum t^2 \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 t 为动态数列时间, y 为不同年度的婴儿死亡率水平, n 为动态数列项数。由式(1)可求出 a, b , 从而求出线性方程。

对于非线性规律, 可通过曲线拟合的方法求解曲线回归方程。先通过散点图选择合适的曲线类型, 经曲线线性化计算线性回归方程, 再还原为曲线回归方程。例如, 指数曲线一般方程为: $y_c = ab^t$ 。其中, a 为动态数列基期的婴儿死亡率水平, b 为婴儿死亡率一般发展速度, t 为动态数列的时间。 $y_c = ab^t$ 两边取对数得: $\lg y_c = \lg a + t \lg b$, 令: $Y = \lg y_c, A = \lg a, B = \lg b$, 则指数方程转化为线性方程: $Y = A + Bt$ 。然后, 根据求线性方程的原理联立方程组:

$$\begin{cases} \sum Y = nA + B \sum t \\ \sum tY = A \sum t + B \sum t^2 \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)可求出 A, B , 进而求出 a, b , 从而求出指数方程。拟合其他曲线求解曲线方程的思路与指数曲线拟合的方法一致, 这里从略。

(二) 动态数列最佳模型的确定方法

根据婴儿死亡率随时间而变化的散点图可以拟合多种曲线模型, 对于每一个曲线模型, 先根据回归显著性检验方差分析法的 F 值和 p 值确定模型是否有统计学意义, 无统计学意义的回归方程不列入筛选范围。对有统计学意义的多个回归模型, 通过曲线拟合优度的方差分析筛选拟合较好的曲线方程。由不同的曲线方程分别求得婴儿死亡率的估计值, 实际值与估计值差的平方和除以其自由度 ($n-2$), 为估计值的方差 ($S_{y,t}^2$) 即剩余方差。

$$F = \text{较大剩余方差} / \text{较小剩余方差} = \text{较大剩余平方和} / \text{较小剩余平方和} \quad (3)$$

本文选择了 1991~2010 年全国监测地区婴儿死亡率, 自由度为 18, 选择 $\alpha=0.05$ 水平, 查 F 界值表, $F_{0.05(18,18)}=2.22$, 根据式(3)两两计算不同拟合曲线的 F 值, 若 $F > 2.22$, 则 $p < 0.05$, 有统计意义。在方差分析基础上筛选出多个拟合较好的曲线模型, 再综合分析判定系数 R^2 和剩余标准差 (标准估计误差) $S_{y,t}$ 、估计值标准误等进一步选择最佳曲线模型。

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (y - \hat{y})^2}{\sum (y - \bar{y})^2} \quad (4)$$

$$S_{y,t} = \sqrt{\sum (y - \hat{y})^2 / (n-2)} \quad (5)$$

式(4)、式(5)中, y 为各年度婴儿死亡率的实际监测结果, \bar{y} 为婴儿死亡率均值, \hat{y} 为经曲线方程计算的各年度婴儿死亡率的估计值。 R^2 越接近 1 表示曲线拟合越好, $S_{y,t}$ 越小表示婴儿死亡率的剩余变异越小、模型的拟合精度越好, 估计值标准误越小表示抽样误差越小、估计值代表总体可靠性越好。本文预测结果的 95% 置信区间为: $(\hat{y} - 1.96 S_{\hat{y}}, \hat{y} + 1.96 S_{\hat{y}})$ 。

$S_{\hat{y}} = S_{y,t} \times \sqrt{1/n + (t - \bar{t})^2 / \sum (t - \bar{t})^2}$ 。曲线拟合回归的显著性检验采用方差分析。

(三) 数据来源

本文将动态数列的分析方法应用于婴儿死亡率的研究, 尽管以国家权威机构发布的婴儿死亡率数据为基础, 但仍然缺乏能够涵盖动态数列分析的其他资料, 为了能尽量使该

方法更具有可行性,笔者还收集了其他文献资料加以分析说明。1991~2010年中国监测地区

表1 1991~2010年中国监测地区婴儿死亡率 ‰

年度	全国	城市	农村	年度	全国	城市	农村
1991	50.2	17.3	58.0	2001	30.0	13.6	33.8
1992	46.7	18.4	53.2	2002	29.2	12.2	33.1
1993	43.6	15.9	50.0	2003	25.5	11.3	28.7
1994	39.9	15.5	45.6	2004	21.5	10.1	24.5
1995	36.4	14.2	41.6	2005	19.0	9.1	21.6
1996	36.0	14.8	40.9	2006	17.2	8.0	19.7
1997	33.1	13.1	37.7	2007	15.3	7.7	18.6
1998	33.2	13.5	37.7	2008	14.9	6.5	18.4
1999	33.3	11.9	38.2	2009	13.8	6.2	17.0
2000	32.2	11.8	37.0	2010	13.1	5.8	16.1

资料来源:国家统计局:《中国统计年鉴(2011)》,中国统计出版社,2012年。

区婴儿死亡率(见表1)来源于《中国统计年鉴(2011)》(国家统计局,2012)。2000~2010年中国5岁以下儿童死亡率及前10位死因死亡率来源于冯江等(2012);《九十年代儿童发展规划纲要》婴儿死亡率控制标准来源于《国务院关于下达〈九十年代中国儿童发展规划纲要〉的通知》(国务院,1992);《中国儿童发展纲要(2001~2010年)》婴儿死亡率控制标准来源于《卫生法规汇编》(卫生部卫生政策法规司,2004)。

三、结果与分析

(一) 中国婴儿死亡率的发展水平与发展速度

根据表1提供的1991~2010年全国、城市和农村婴儿死亡率,每5年为一个阶段,分别计算阶段性婴儿死亡率的平均增长量、平均发展速度、平均增长速度。增长量表示婴儿死亡率在一定时期内增长的数量。根据表1数据计算的全国、城市、农村婴儿死亡率的平均增长量均为负值(见表2),表明总体上婴儿死亡率逐年下降。纵向观察,“八五”期间婴儿死亡率下降的绝对量大于“九五”期间,“十五”期间下降的绝对量大于“十一五”期间,每5年有一个相对快速下降期,在一个快速下降后出现一个缓慢下降期。农村婴儿死亡率下降的绝对量明显大于城市,也大于全国的下降绝对量(“十一五”期间除外,是否由于城镇化影响了城乡人口构成,有待验证)。通过观察中国阶段性婴儿死亡率的平均增长量变化,不难发现“八五”、“十五”期间及农村婴儿死亡率的下降对全国婴儿死亡率下降的贡献度较大。在农村继续积极防治婴儿死亡将有助于进一步促进中国婴儿死亡率的有效下降,在城市加强落实防控措施将有助于预防婴儿死亡率的反弹。

表2显示,不同阶段的婴儿死亡率的平均发展速度均小于100%,从一个侧面说明婴儿死亡率随着时间的推移而变小,而且平均发展速度越小,与基期水平的差距越大。由于不同阶段的平均发展速度的基期水平不一样,相互之间的可比性不及平均增长量。

增长速度表示婴儿死亡率增长的程度,从表2可以看出,各个阶段内婴儿死亡率的平均增长速度均为负值,表明婴儿死亡率在不同阶段内的平均递减速度。纵向观察,每5年的下降速度显示出与平均增长量相似的变化规律。

(二) 主要死因死亡率变化对婴儿死亡率下降的贡献度

由于缺乏全国同期监测地区婴儿主要死因死亡率数据, 本文选择了中国2000~2010年5岁以下儿童死亡率和死亡原因分析的数据资料(冯江等,2012),计算了5岁以下儿童死亡率及其主要死因死亡率的平均增长量、平均发展速度和平均增长速度(见表3)。结果显示,不同死因的婴儿死亡率下降的绝对量不同,肺炎、早产和低出生体重、出生窒息、腹泻死亡率下降的绝对量大一

些,神经管畸形、颅内出血、痢疾死亡率下降绝对量小的原因与其发病率低、死亡率基期水平低有关。从平均发展速度分析,先心病、意外窒息、溺水发展速度慢于5岁以下儿童死亡率的平均发展速度。从下降速度分析,肺炎、出生窒息、腹泻、神经管畸形、颅内出血、痢疾的下降速度快于5岁以下儿童死亡率的平均下降速度。2001~2010年,肺炎、腹泻、痢疾等感染性疾病及出生窒息、神经管畸形、颅内出血等非感染性疾病的防治效果明显,提示中国积极防治感染性疾病、推广应用新生儿复苏技术、开展适龄孕妇普服叶酸项目取得了一定的成效,对中国5岁以下儿童死亡率下降贡献

表2 1991~2010年中国监测地区婴儿死亡率变化情况

地区	时 间(年)				1991~2010
	1991~1995	1995~2000	2000~2005	2005~2010	
平均增长量(千分点)					
全国	-3.45	-0.84	-2.64	-1.18	-1.95
城市	-0.78	-0.48	-0.54	-0.66	-0.61
农村	-4.10	-0.92	-3.08	-1.10	-2.21
平均发展速度(%)					
全国	92.28	97.58	89.99	92.83	93.17
城市	95.18	96.36	94.94	91.39	94.41
农村	92.03	97.68	89.79	94.29	93.48
平均增长速度(%)					
全国	-7.72	-2.42	-10.01	-7.17	-6.83
城市	-4.82	-3.64	-5.06	-8.61	-5.59
农村	-7.97	-2.32	-10.21	-5.71	-6.52

注:根据表1数据计算。

表3 2000和2010年中国5岁以下儿童及主要死因死亡率发展水平与速度指标比较

分 类	2000年 (‰)	2010年 (‰)	平均增长量 (千分点)	平均发展 速度(%)	平均增长 速度(%)
5岁以下儿童死亡率	39.700	16.400	-2.33	91.54	-8.46
肺炎	7.736	2.383	-0.54	88.89	-11.11
早产和低出生体重	6.736	2.856	-0.39	91.78	-8.22
出生窒息	6.307	2.213	-0.41	90.06	-9.94
先心病	1.934	1.550	-0.04	97.81	-2.19
腹泻	1.928	0.519	-0.14	87.70	-12.30
意外窒息	1.487	0.953	-0.05	95.65	-4.35
溺水	1.348	0.723	-0.06	93.96	-6.04
神经管畸形	0.730	0.172	-0.06	86.54	-13.46
颅内出血	0.643	0.187	-0.05	88.38	-11.62
痢疾	0.324	0.023	-0.03	76.76	-23.24

注:2000年、2010年数据来源于冯江等,2012;平均指标根据2000年、2010年数据计算。

较大,继续做好相关工作有助于防止中国5岁以下儿童死亡率的反弹。而先心病、意外窒息、溺水、早产和低出生体重死亡率的变化对中国5岁以下儿童死亡率下降贡献较小,进一步落实更有针对性的防控措施是进一步降低中国5岁以下儿童死亡率的关键。

(三) 婴儿死亡率动态规律、发展趋势

刘娅等(2007)以1991~2004年全国婴儿死亡率为基础利用自回归移动平均模型预测出中国2005~2007年婴儿死亡率水平,预测结果与实际监测结果的剩余标准差为6.99‰,以指数曲线拟合出同期剩余标准差为2.16‰,指数曲线拟合优于自回归移动平均模型。李向云等(2009)以中国1999~2005年婴儿死亡率GM(1,1)灰色模型预测了2006~2009年婴儿死亡率水平,经计算预测结果与实际监测结果的剩余标准差为1.09‰,而同期指数曲线的剩余标准差为1.77‰,两个模型的剩余标准差比较接近,灰色模型略占优势,但灰色模型适用于数据量少及短期预测。任正洪等(2010)、吕行等(2011)选用人均国民收入与婴儿死亡率建立函数关系,建立幂函数预测模型,但其曲线拟合的决定系数R²分别为0.805、0.858,不及指数曲线的拟合度,却为婴儿死亡率预测模型的建立提供了新的思路。张彤等(2004)应用支持向量机、殷菲等(2006)采用径向基函数神经网络建立婴儿死亡率预测模型,预测了在同一时期全国22个省的32个县的婴儿死亡率。但神经网络模型有其固有缺陷,支持向量机模型不易应用,原始数据收集积累困难,但对于婴儿死亡率模型的建立提供了新的方法。

本文以时间为序,以全国、城市、农村婴儿死亡率分别建立动态数列,可求解拟合模型的曲线方程表达式,使用SPSS17.0统计软件曲线拟合了11种动态模型。现以农村婴儿死亡率为例选择最佳模型,从单一模型分析,11个曲线模型均有统计意义(见表4)。再经曲线拟合优度的方差分析,线性、二次多项式、三次多项式、指数、logistic、增长、复合等7种模型(p>0.05)明显优于其他4种(p<0.05)。在这7个模型中,反映其曲线拟合度的判定系数R²、剩余标准差S_{y,t}比较接近,但指数、logistic、增长、复合等4种模型反映抽样误差大小的

表4 1991~2010年全国农村婴儿死亡率曲线拟合比较

曲线类别	方程	剩余方差	R ²	估计值的标准误	F	p
线性方程式	y=55.7305-2.1105x	5.3410	0.969	2.311	554.599	0.000
二次多项式	y=57.7937-2.6732x+0.0268x ²	4.6408	0.973	2.217	302.692	0.000
三次多项式	y=59.3699-3.4775x+0.1202x ² -0.0030x ³	4.4250	0.974	2.231	199.446	0.000
指数形式	y=63.0861exp ^(-0.0671x)	6.6588	0.964	0.079	479.863	0.000
Logistic方程式	y=1/(0.0159 × 1.0694 ^x)	6.6588	0.964	0.079	479.863	0.000
增长函数式	y=exp ^(4.1445-0.0671x)	6.6588	0.964	0.079	479.863	0.000
复合函数式	y=63.0861 × 0.9351 ^x	6.6588	0.964	0.079	479.863	0.000
对数形式	y=64.9793-14.8382Lnx	16.3992	0.903	4.050	168.489	0.000
幂函数	y=79.5982x ^(-0.4428)	50.5180	0.792	0.190	68.350	0.000
逆运算形式	y=25.7325+43.5690/x	69.8256	0.589	8.356	25.799	0.000
S	y=exp ^(3.2228+1.2062/x)	111.9977	0.444	0.310	14.386	0.001

注:根据表1数据经SPSS统计软件拟合、计算。

标准误差明显小于线性、二次多项式、三次多项式。这4种曲线的方程表达式不一样,预测结果却一样,而线性、二次与三次多项式对未来的预测结果出现了负值,从婴儿死亡率的下降历程分析,将从快速下降向缓慢下降转型,且婴儿死亡率水平达10‰左右时,其下降的空间变窄,下降的绝对量变小,下降的速度也趋向缓慢,线性、二次与三次多项式模型能较好表达过去一段时期内婴儿死亡率变动的规律,却不能反映出中国农村婴儿死亡率未来一段时期的下降趋势。预测未来婴儿死亡率下降趋向,应当改变线性的斜率或曲线的曲率。因此,选择指数曲线作为全国农村婴儿死亡率的最佳预测模型。

对于1991~2010年全国城市婴儿死亡率的变动模型以三次多项式为最优,模型表达式为 $y=18.7388-0.9647x+0.0505x^2-0.0018x^3$ ($R^2=0.959$,标准误差为0.825, $F=124.126$, $p=0.000$),鉴于婴儿死亡率将从快速下降向缓慢下降转型,未来城市婴儿死亡率的预测以指数曲线为优,模型表达式为 $y=20.2920\exp^{-0.0564x}$ ($R^2=0.920$,标准误差为0.101, $F=207.818$, $p=0.000$)。

对于1991~2010年全国婴儿死亡率的变动规律以线性模型为最优,模型表达式为 $y=49.0437-1.8994x$ ($r=0.986$, $R^2=0.959$,标准误差为1.915, $F=647.488$, $p=0.000$),考虑到婴儿死亡率将进入下降转型阶段,对于未来全国婴儿死亡率的预测以指数曲线为优,模型表达式为 $y=56.4260\exp^{-0.0704x}$ ($R^2=0.956$,标准误差为0.092, $F=390.099$, $p=0.000$)。

观察曲线拟合优度方差分析无显著差异的7种模型的曲线变化规律,发现在1991~2010年间,全国、城市、农村婴儿死亡率均呈现持续的下降规律。从筛选的最佳预测模型指数曲线走向分析,未来婴儿死亡率亦呈下降趋势,但曲线的走向渐趋平坦,说明婴儿死亡率下降渐趋缓慢。根据优选的全国、城市、农村预测模型指数曲线方程,将时间序列变动序数分别代入到相应的表达式中计算,从而求得2011~2020年各年度婴儿死亡率的预测值,再由公式(5)和 $S_y=S_{y,t} \times \sqrt{1/n+(t-\bar{t})^2 / \sum (t-\bar{t})^2}$ 分别计算各年度预测结果的95%置信区间(见表5)。

(四) 阶段性婴儿死亡率控制标准制定方法

1. 趋势预测法。根据趋势预测结果确定婴儿死亡率控制标准。从表5数据计算出,经指数曲线模型预测2011~2020年间婴儿死亡率均值为9.57‰,2020年的预测结果为6.83‰,95%置信区间为(5.34‰,8.73‰),通过对趋势预测结果的综合分析可以确定到2020年全国婴儿死亡率控制在10‰以下,这与《中国儿童发展纲要(2011~2020年)》(国务院,2011)确定的目标一致。然而,趋势预测法预测的是婴儿死亡率的平均发展水平,平均数据掩盖贫困与富裕地区发展的差异和不平衡(何丹等,2008)。在均值离差法中,均值 $\pm 1SD$ 代表68.3%样本,均值 $\pm 2SD$ 代表95.4%样本。正态分布时,均值等于中位数,在第50百分位数上。用平均发展水平作为控制标准过于严格,由于中国婴儿死亡率的地区性及城乡差异明显,可能相当一部分地区难以实现。本方法适用于辖区内不同行政区划间的婴儿死亡率彼此相互接近、波动不大且经济基础较好的地区或低水平持续状态。

2. 平均增长量法。根据历次中国儿童发展规划纲要确定的婴儿死亡率下降规律探索控

表5 2011~2020年全国、城市、农村婴儿死亡率指数模型的预测结果 ‰

年份	全国		城市		农村	
	预测值	95%置信区间	预测值	95%置信区间	预测值	95%置信区间
2011	12.87	(10.40, 15.92)	6.21	(4.92, 7.85)	15.41	(12.83, 18.51)
2012	11.99	(9.67, 14.88)	5.87	(4.64, 7.44)	14.41	(11.97, 17.35)
2013	11.18	(8.98, 13.91)	5.55	(4.37, 7.06)	13.47	(11.16, 16.26)
2014	10.42	(8.34, 13.01)	5.25	(4.11, 6.70)	12.60	(10.41, 15.25)
2015	9.71	(7.75, 12.17)	4.96	(3.87, 6.35)	11.78	(9.70, 14.30)
2016	9.05	(7.20, 11.38)	4.69	(3.65, 6.03)	11.02	(9.05, 13.42)
2017	8.44	(6.68, 10.65)	4.43	(3.43, 5.72)	10.30	(8.43, 12.59)
2018	7.86	(6.20, 9.97)	4.19	(3.23, 5.43)	9.63	(7.86, 11.81)
2019	7.33	(5.76, 9.33)	3.96	(3.04, 5.16)	9.01	(7.32, 11.09)
2020	6.83	(5.34, 8.73)	3.74	(2.86, 4.90)	8.42	(6.82, 10.41)

注:根据表4最佳预测模型计算。

则2000年、2010年婴儿死亡率分别为 $2a/3$ 、 $8a/15$,根据这一规律可以建立动态数列,计算出婴儿死亡率的平均增长量为 $-7a/30$,平均发展速度为73.03%,平均增长速度为-26.97%。假设2011~2020年婴儿死亡率也以 $-7a/30$ 的平均增长量变化,则中国2020年婴儿死亡率以2010年为基数下降 $7/16$ 。2010年中国婴儿死亡率为13.1‰,那么2020年婴儿死亡率应控制在7.37‰以内。

婴儿死亡率的下降并不是匀速的,从发展历程看可分为快速下降、缓慢下降与低水平持续状态(李鸿斌等,2010),3个阶段内的下降速度有较大差别,平均增长量法掩盖了这种差别。本方法是一种理想化的方法,要求阶段内婴儿死亡率下降幅度变异不大,相对匀速状态,在婴儿死亡率快速下降阶段可酌情考虑。

3. 校正平均增长量法。充分考虑不同历程婴儿死亡率的下降变动规律,可通过放慢平均下降速度、提高平均发展速度,从而减少平均下降量(李鸿斌等,2010),根据下降速度的不平衡性调整校正系数,确定阶段性婴儿死亡率的控制标准。校正系数难以准确确定,关键是要对当地经济社会发展有一个准确的判断、对婴儿死亡率下降历程有一个正确的认识。表6对中国儿童发展纲要婴儿死亡率控制指标的平均下降绝对量进行了适度的校正,确定2020年在不同校正系数下以2010年婴儿死亡率为基数下降的倍数关系。

该方法的局限性在于确定校正系数时的主观性和难度。适用于婴儿死亡率下降历程的不同阶段,特别是过渡期内。

在制定婴儿死亡率阶段性控制标准时,可以参照这3种方法,尽管3种方法都存在着局限性,但3种方法相结合,对于婴儿死亡率控制标准的制定,从方法学上是一次有益尝试,为今后制定阶段性婴儿死亡率控制标准提供了一个参考方法,对于促进婴儿死亡监测从经验管理向科学管理转变有指导意义。

制标准,《九十年代中国儿童发展规划纲要》提出2000年以1990年为基数下降1/3(国务院,1992),《中国儿童发展纲要(2001~2010年)》提出2010年以2000年为基数下降1/5(国务院,2011)。设1990年婴儿死亡率为 a ,

(五) 婴儿死亡率年度监测评估参照标准

婴儿死亡率评估不能仅局限于终期目标的评估,更重要的是过程的控制,务必对年度婴儿死亡率水平进行定期评估,以便及时发现问题。年度评估也要确定对照标准,一是评估婴儿死亡率水平是否突破控制标准,可采用样本率与总体率的 U 检验。二是评估年度婴儿死亡率在阶段内的增长量、发展速度及增长速度,判断婴儿死亡率是上升还是下降,下降快慢程度及量的多少。对于婴儿死亡率基期水平较高,在阶段内婴儿死亡率不可能立即降至标准设定的界值时,要把评估阶段内婴儿死亡率的平均增长量与控制标准阶段内的平均增长量、上一阶段内的平均增长量进行比较。以全国婴儿死亡率为例,按照文中给出的平均增长量、平均发展速度、平均增长速度公式分别

计算 2001~2010 年(监测结果)、2011~2020 年(预测结果)的平均发展指标,作为年度评估的参照指标(见表 7),年度评估时评估阶段的平均下降量理论上应当在 0.67~1.88,平均下降速度在 6.8%~8.8%,平均发展速度在 91.2%~93.2%。凡是婴儿死亡率及其下降的绝对量和速度超过界值标准的,均应积极查找原因。对于下降速度过快、下降绝对量过大,应排查是否存在婴儿死亡漏报,对于下降速度较慢、下降绝对量较小,应考虑死因死亡率的波动、防控措施落实是否到位,应酌情调整防控措施。

表 6 校正平均增长量法确定的 2020 年婴儿死亡率控制标准

2010 年婴儿死亡率(A)	既往平均下降量(B)	校正系数(C)	校正后下降量(D)	2020 年以 2010 年为基数下降的倍数关系(E)	
				准确值	近似值
8a/15	7a/30	1/5	2a/43	7/80	1/10
8a/15	7a/30	2/5	7a/75	7/40	1/6
8a/15	7a/30	3/5	7a/50	21/80	1/4
8a/15	7a/30	4/5	14a/75	7/20	1/3
8a/15	7a/30	1	7a/30	7/16	4/9
8a/15	7a/30	6/5	7a/25	21/40	1/2

注:根据《九十年代中国儿童发展规划纲要》、《中国儿童发展纲要(2001~2010 年)》婴儿死亡率要求的变化规律计算。A 为 2010 年婴儿死亡率,是以 1990 年为基数(设为 a)按两个 10 年规划要求计算的理论数据,B 为既往平均下降量,是 1991~2010 年之间的平均下降量,C 为校正系数,是以 B 为基础适当加快或减慢下降的比例系数,D 为校正后下降量, $D=B \times C$,E 是以 2010 年为基数在 2020 年下降的倍数关系, $E=D \div A$ 。

表 7 2011~2020 年婴儿死亡率年度评估参照标准

参照指标	2001~2010 年	2011~2020 年
	监测结果	预测结果
平均增长量(千分点)	-1.88	-0.67
平均发展速度(%)	91.20	93.20
平均增长速度(%)	-8.80	-6.80

注:根据表 1、表 5 数据计算。

四、结论与讨论

(一) 主要研究结论

鉴于婴儿死亡监测管理工作中面临的实际问题,本文运用动态数列分析法研究了我国 1991~2010 年婴儿死亡率动态规律。得出以下主要结论:(1) 中国婴儿死亡率呈下降趋势,但地区性差异明显,将从快速下降向缓慢下降转型,“十二五”期间可能是婴儿死亡率快速下降的机遇期,未来下降速度渐趋缓慢,推测“十三五”后期开始将进入缓慢下降阶

段。(2)“八五”、“十五”期间婴儿死亡率下降的绝对量较大,农村婴儿死亡率下降的绝对量大于城市,肺炎、腹泻、痢疾等感染性疾病及出生窒息、神经管畸形、颅内出血等非感染性疾病的防治效果明显,对中国5岁以下儿童死亡率下降贡献较大。(3)在制定婴儿死亡率阶段性控制标准时,趋势预测法容易掩盖婴儿死亡率的地区性差异,适用于婴儿死亡比较接近、波动不大且经济基础较好的地区或低水平持续状态;平均增长量法容易掩盖婴儿死亡率下降速度的差异,适用于婴儿死亡率下降速度变异不大的地区,以快速下降阶段较好;校正平均增长量法在校正系数的确定上有一定的难度,适用于婴儿死亡率下降的不同阶段,特别是过渡期。在年度监测评估时要选择恰当的参照系,指标评估应包括婴儿死亡率水平是否达标和婴儿死亡率下降的绝对量、发展速度与下降速度是否超标。

(二) 关于中国婴儿死亡率未来发展趋势的认识

总体上,中国婴儿死亡率呈现下降趋势,但存在地区差异,中、西部地区正处于快速下降阶段,中部地区将向缓慢下降过渡,东部地区和部分经济发达的城市可能正处于低水平持续状态或由缓慢下降向低水平持续状态过渡。在不同时期婴儿死亡的死因构成是不一样的,就全国而言,20世纪90年代以感染性疾病为主,而21世纪初的前10年感染性疾病死亡率下降,在未来的发展过程中,随着婴儿死亡率进入缓慢下降或低水平持续状态,导致婴儿死亡的疾病将以先天性、遗传性、围产期等非感染性疾病为主。不同阶段死因构成的差异,决定了不同阶段防控措施应更有针对性。

考虑到中国婴儿死亡率将从快速下降向缓慢下降转型,根据过去一个阶段动态变化规律筛选的最佳模型,在对未来发展趋势的预测时,应当遵循死亡率下降的规律、适应转型期的变化,适当改变曲线的曲率,选择更具前瞻性的预测模型。以往研究中婴儿死亡率预测模型一般都是单一的动态模型,事实上,动态模型的选择有不同的方法和途径,在最佳模型的判断上,建议多用几种方法进行拟合,然后根据曲线拟合优度的假设检验并结合反映曲线拟合精度与抽样误差的指标进行综合分析,关键是正确判断过去一个阶段内婴儿死亡率的实际监测结果与模型估计值之间的变异程度。仅用单一模型或单一指标判断,选择的动态模型容易发生偏差。不能正确认识婴儿死亡率所处的发展阶段,一成不变地使用动态模型,预测结果也将有失偏颇。最佳动态模型反映的是过去一段时期内婴儿死亡率的动态规律,模型上不同时间点对应的婴儿死亡率(估计值)并不能代表该时点的婴儿死亡率实际水平,只是实际水平与模型估计值间的变异最小而已。因此,运用动态模型进行预测时,近期预测的变异可能较小,而长期预测的变异则不容乐观,远期预测更应慎重。

(三) 对婴儿死亡监测与评估问题的思考

“六普”人口普查中婴儿死亡漏报明显,可能与普查工作者对于人口普查工作重点认识有关,一定程度上忽略了死亡登记或没有把婴儿死亡作为普查的重点任务。一般而言婴儿死亡率以1年为周期进行统计,而人口普查以截止时点登记,在统计口径上可能存在一定的差异。在婴儿死亡监测工作中也同样存在着死亡漏报问题,国家监测点也不例外。《中国儿童发展纲要(2011~2020年)》要求到2020年婴儿死亡率控制在10‰以下(国务院,2011),

由于中国婴儿死亡率所呈现的城乡差异与地区性差异,不同地区婴儿死亡率在下降历程中所处的发展阶段也不尽相同,部分城市或东部地区使用这个标准显得过于宽松,而中、西部特别是农村地区使用该标准又显得过于严格。因此在制定标准时必须充分考虑城乡与地区差异,从实际出发、酌情选择方法,制定一个可行的、符合婴儿死亡率发展客观规律的控制标准。在婴儿死亡监测管理工作中,要重视过程的监控与年度监测评估,把评估的重点放在防控措施落实是否到位、质量是否可靠、效果是否明确上,软件资料的完整性固然重要,但不能流于形式,不必苛求完整无缺,需要更进一步重视实地走访核实,杜绝漏报、错报,不断解决监测过程中的实际问题,进一步提高监测工作质量。

参考文献:

1. 冯江等(2012):《中国 2000~2010 年 5 岁以下儿童死亡率和死亡原因分析》,《中华流行病学杂志》,第 6 期。
2. 国务院(1992):《国务院关于下达〈九十年代中国儿童发展规划纲要〉的通知》(<http://baike.baidu.com/view/3020132.htm>)。
3. 国务院(2011):《国务院关于印发中国妇女发展纲要和中国儿童发展纲要的通知》,中华人民共和国中央政府门户网站(http://www.gov.cn/gongbao/content/2011/content_1927200.htm),4 月 18 日。
4. 何丹等(2008):《人类发展指数与孕产妇和儿童死亡率的关系》,《中国妇幼保健》,第 12 期。
5. 黄燕等(2012):《海南省 2001~2010 年婴儿死亡率及死因研究》,《现代预防医学》,第 22 期。
6. 黄荣清、曾宪新(2013):《“六普”报告的婴儿死亡率误差和实际水平的估计》,《人口研究》,第 2 期。
7. 李鸿斌等(2010):《探索制订江苏省“十二五”儿童发展规划婴儿死亡率控制标准》,《中国儿童保健杂志》,第 9 期。
8. 李鸿斌等(2012):《我国婴儿死亡率下降模式研究进展》,《中国儿童保健杂志》,第 8 期。
9. 李洁明、祁新娥(2010):《统计学原理》,复旦大学出版社。
10. 刘丽等(2013):《2000~2010 年哈尔滨市婴儿死亡趋势分析》,《中国妇幼保健》,第 5 期。
11. 吕行等(2011):《期望寿命与婴儿死亡率的预测》,《现代预防医学》,第 21 期。
12. 李向云等(2009):《GM(1,1)灰色模型在拟合我国婴儿死亡率中的应用》,《中国医院统计》,第 1 期。
13. 刘娅等(2007):《中国婴儿 1991~2004 年死亡率趋势及预测分析》,《现代预防医学》,第 16 期。
14. 邱琇等(2012):《广州 2001~2010 年婴儿死亡率趋势分析及预测》,《中华流行病学杂志》,第 7 期。
15. 全国 5 岁以下儿童死亡调查协作组(1994):《中国 5 岁以下儿童死亡抽样调查》,《中华儿科杂志》,第 3 期。
16. 任正洪等(2010):《利用曲线拟合模型对 2020 年我国妇幼卫生健康指标的预测》,《中国卫生统计》,第 3 期。
17. 吴朝霞等(2012):《贵州省 2003~2007 年婴儿死因结构及相关因素探讨》,《中国妇幼健康研究》,第 4 期。
18. 卫生部卫生政策法规司(2004):《中华人民共和国卫生法规汇编(2001~2003)》,法律出版社。
19. 殷菲等(2006):《基于径向基函数神经网络的婴儿死亡率预测模型》,《现代预防医学》,第 4 期。
20. 张彤等(2004):《基于支持向量机的婴儿死亡率预测模型》,《中国卫生统计》,第 2 期。
21. 郑海鸥、潘传波(2004):《曲线回归分析方法在儿童死亡监测中的应用》,《重庆医学》,第 7 期。
22. 中华人民共和国国家统计局(2011):《监测地区 5 岁以下儿童死亡率和孕产妇死亡率》,《中国统计年鉴(2011)》,中国统计出版社。
23. 赵莹、刘春艳(2012):《2006~2011 年度天津市河北区 5 岁以下儿童死亡监测结果分析》,《天津医科大学学报》,第 2 期。

(责任编辑:朱 萍)