

基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估新医改后我国儿童保健发展状况*

李福轮¹ 郑鑫² 李亚楠³ 赵乾龙^{1△}

【摘要】目的 应用基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估 2009 年新医改后我国儿童保健发展状况。**方法** 数据来自《中国卫生健康统计年鉴(2018—2021)》公布数据。采用 N_1 (出生体重<2500 克婴儿比重)、 N_2 (围产儿死亡率)、 N_3 (5 岁以下儿童低体重患病率)、 N_4 (新生儿访视率)、 N_5 (3 岁以下儿童系统管理率)、 N_6 (7 岁以下儿童保健管理率)等指标评价儿童保健发展状况。采用熵权法计算各评价指标的权重,采用加权逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)法和秩和比法(rank sum ration, RSR)法模糊联合综合评估新医改后我国儿童保健发展状况,采用敏感性分析确定各评价指标的敏感度。**结果** 熵权法计算结果显示,评价指标 $N_1 \sim N_6$ 的权重值依次为 0.2779、0.1705、0.1423、0.1387、0.1390、0.1315。基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估结果显示,我国儿童保健发展状况排名第 1 位为 2020 年,第 12 位为 2009 年。Spearman 相关性分析结果显示, C_i 值与 $WRSR$ 值呈显著正相关($r=0.9986, P<0.001$)。敏感性分析结果显示,各评价指标的敏感度大小顺序为: $N_1>N_2>N_4>N_3>N_5>N_6$ 。**结论** 新医改后,我国儿童保健发展质量整体上逐年上升,评价指标中出生体重<2500 克婴儿比重这一指标的权重系数和敏感度均最高,对儿童保健发展质量评估的影响最大。

【关键词】 熵权 逼近理想解排序法 秩和比法 儿童保健

【中图分类号】 R179 **【文献标识码】** A **DOI** 10.11783/j.issn.1002-3674.2025.01.022

儿童保健工作对于提高儿童的健康水平具有重大意义。我国拥有世界上规模第二大的儿童群体,儿童保健政策和服务的改善,将直接惠及全国人口总数的 17.95%^[1]。2009 年新医改以来,在各级儿童保健机构的共同努力下我国儿童保健发展大幅提高^[2]。截至 2020 年,婴儿死亡率降低至 5.4‰、5 岁以下儿童死亡率降低至 7.5‰,但儿童保健发展状况评估包括多项评价指标,各指标的权重系数、变化速度和幅度不一,因此应采用多目标决策分析方法进行综合评估^[3]。熵权法是多目标决策分析中最常用的计算各指标权重大小的方法之一^[4]。逼近理想解排序法(technique for order preference by similarity to an ideal solution, TOPSIS)和秩和比法(rank sum ration, RSR)均是医疗卫生领域广泛应用的多目标决策分析的有效方法^[5-6]。因此,本研究以中国卫生健康统计年鉴(2018—2021)》为数据来源,运用基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估新医改后我国儿童保健发展状况,为持续提升全国儿童保健水平制定政策措施提供参考。

资料与方法

1. 资料来源

本研究分析数据通过《中国卫生健康统计年鉴

(2018—2021)》获得。根据年鉴公布的相关数据,采用 N_1 (出生体重<2500 克婴儿比重)、 N_2 (围产儿死亡率)、 N_3 (5 岁以下儿童低体重患病率)、 N_4 (新生儿访视率)、 N_5 (3 岁以下儿童系统管理率)、 N_6 (7 岁以下儿童保健管理率)等指标对全国儿童保健发展状况进行综合评价和分析。其中, N_1 、 N_2 、 N_3 属低优指标, N_4 、 N_5 、 N_6 属高优指标。收集各项指标 2009—2020 年连续 12 年的数值结果。本研究获得本院伦理委员会批准同意(伦理学批号:2023A-424)。

2. 研究方法

(1) 评价指标权重的计算

采用熵权法计算各评价指标的权重。计算步骤如下:

①指标同趋势化,采用差值法将低优指标转化为高优指标。

②利用公式(1)对高优指标进行归一化处理:

$$a_{ij} = \frac{X_{ij} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}}{\max\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\} - \min\{X_{1j}, \dots, X_{nj}\}} \quad (1)$$

其中, X_{ij} 表示第 i 年度第 j 个指标的取值。本研究中 $n=12, i=1, 2, \dots, 12, j=1, 2, \dots, 6$ 。

③利用公式(2)计算第 j 个指标下的第 i 个样本在指标中的比例(p_{ij}):

$$p_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^n a_{ij}} \quad (2)$$

④利用公式(3)计算第 j 个指标的信息熵(e_j):

$$e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln(p_{ij}) \quad (3)$$

其中, $k = \frac{1}{\ln(n)}$ 。

* 基金项目:甘肃省青年科技基金(23JRRA1643)

1. 兰州大学第二医院(第二临床医学院)儿童发育行为科(730030)
2. 兰州大学第二医院(第二临床医学院)学生处学生科
3. 兰州大学第二医院(第二临床医学院)药剂科

△通信作者:赵乾龙, E-mail: zhaqml6@163.com

⑤利用公式(4)计算信息熵的冗余度(d_j):

$$d_j = 1 - e_j \quad (4)$$

⑥利用公式(5)计算各指标的权重(W_j):

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (5)$$

其中, $m=6$ 。

(2) 加权 TOPSIS 法^[5]

①采用差值法将低优指标转化为高优指标,即同趋势化。

②利用公式(6)对同趋势化后的数据矩阵进行归一化处理,建立归一化矩阵 A。

$$a_{ij} = W_j X_{ij} / \sqrt{\sum_{i=1}^n X_{ij}^2} \quad (6)$$

其中, W_j 表示第 j 个指标的权重, X_{ij} 表示第 i 年度第 j 个指标的取值。

③根据矩阵 A 确定最优向量 A^+ 和最劣向量 A^- 。其中, $A_j^+ = \max(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{12j})$, $A_j^- = \min(a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{12j})$ 。

④利用公式(7)和(8)分别计算各年度与最优向量的距离 D_i^+ 和与最劣向量的距离 D_i^- :

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a_{ij}^+ - a_{ij})^2} \quad (7)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (a_{ij}^- - a_{ij})^2} \quad (8)$$

⑤利用公式(9)计算各年度与最优向量的接近程度(C_i):

$$C_i = D_i^- / (D_i^+ + D_i^-) \quad (9)$$

其中, C_i 值越大表明该年度儿童保健状况越接近最优水平。

(3) 加权 RSR 法^[6]

①对各项评价指标进行编秩。

②利用公式(10)计算加权 RSR (weight rank summation, WRSR) 值:

$$WRSR = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^m W_j R_{ij} \quad (10)$$

其中, W_j 表示第 j 个指标的权重, R_{ij} 表示第 i 年度第 j 个指标的秩次。本研究中 $m=6, n=12$ 。

③根据 WRSR 值排序, WRSR 值越大表明儿童保健状况越好。

(4) 基于熵权的 TOPSIS 法与 RSR 法模糊联合法^[7]

①运用加权 TOPSIS 法及加权 RSR 法分别计算出 C_i 值、WRSR 值。

②利用公式(11)计算 C_i 值和 WRSR 值的模糊联合结果 (fuzzy union results, FUR)。

$$FUR = W_1 C_i + W_2 WRSR \quad (11)$$

其中, $W_1: W_2$ 为权重比。

③根据 FUR 值进行排序,数值越大表明儿童保健状况越好。

3. 敏感性分析

①假设某个指标权重 W_k 发生变化,变为 W_k^* , $k=1, 2, \dots, 6$, 则 $W_k^* = \gamma_k W_k$, 其中 γ_k 是 W_k 的初始变化率 ($\gamma_k > 0$)。因为各指标权重之和等于 1, 因此当 W_k 发生变化时,其他指标的权重也会发生变化。利用公式(12)计算各指标变化后的权重:

$$\begin{aligned} W_1' &= \frac{W_1}{W_1 + W_2 + \dots + W_k^* + \dots + W_n} \\ W_2' &= \frac{W_2}{W_1 + W_2 + \dots + W_k^* + \dots + W_n} \\ W_k' &= \frac{W_k^*}{W_1 + W_2 + \dots + W_k^* + \dots + W_n} \\ W_n' &= \frac{W_n}{W_1 + W_2 + \dots + W_k^* + \dots + W_n} \end{aligned} \quad (12)$$

其中, W_1', W_2', W_k' 和 W_n' 分别是 W_k 变化之后第 1、2、 k 和 n 个指标变化后的权重。

②变量 β_k 定义为 W_k 的单位变化率,因此利用公式(13)可以计算出初始变化率 γ_k :

$$\gamma_k = \frac{\beta_k - \beta_k W_k}{1 - \beta_k W_k} \quad (13)$$

③本研究中,以 W_1 发生变化为例,共设计了 12 种单位变化率方案,即 $\beta_1 = 0.01, 0.02, 0.05, 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5$ 。在设计了不同单位变化率方案后,重新计算了这些方案下各指标的权重,并且还获得了这些方案下 FUR 值。

4. 统计学分析

数据采用 excel 2019 及 SPSS 19.0 进行统计分析。相关性分析采用 Spearman 相关性分析。检验水准 $\alpha=0.05$ 。

结 果

1. 各评价指标权重系数的确定

熵权法计算结果显示,评价指标 $N_1 \sim N_6$ 的权重值依次为 0.2779、0.1705、0.1423、0.1387、0.1390、0.1315(表 1)。

表 1 评价指标 $N_1 \sim N_6$ 的权重值

变量	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6
熵值(e_j)	0.8940	0.9350	0.9457	0.9471	0.9470	0.9498
冗余度(d_j)	0.1060	0.0650	0.0543	0.0529	0.0530	0.0502
权重值(W_j)	0.2779	0.1705	0.1423	0.1387	0.1390	0.1315

2. 加权 TOPSIS 法评估新医改后我国儿童保健发展状况

加权 TOPSIS 法评估结果示,新医改后我国儿童保健发展状况排名前 3 位依次为 2020 年、2019 年、

2018 年,排名后 3 位的依次为 2009 年、2010 年、2011 年(表 2)。

表 2 加权 TOPSIS 法评估我国 2009—2020 年儿童保健发展状况

年份	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
2009	0.01021	0.0000007	0.00007	12
2010	0.00755	0.00870	0.53550	11
2011	0.00575	0.01175	0.67153	10
2012	0.00399	0.01397	0.77797	9
2013	0.00266	0.01567	0.85500	8
2014	0.00218	0.01630	0.88185	7
2015	0.00155	0.01705	0.91667	6
2016	0.00133	0.01736	0.92896	5
2017	0.00132	0.01735	0.92908	4
2018	0.00130	0.01743	0.93072	3
2019	0.00082	0.01802	0.95671	2
2020	0.00006	0.01882	0.99669	1

3. 加权 RSR 法评估新医改后我国儿童保健发展

状况

加权 RSR 法评估结果示,新医改后我国儿童保健发展状况排名前 3 位依次为 2020 年、2019 年、2017 年,排名后 3 位的依次为 2009 年、2010 年、2011 年(表 3)。

4. 基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估

基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估结果显示,新医改后我国儿童保健发展状况排名前 3 位依次为 2020 年、2019 年、2017 年,排名后 3 位的依次为 2009 年、2010 年、2011 年(表 4)。

5. 相关性分析

Spearman 相关性分析结果示, C_i 值与 $WRSR$ 值呈显著正相关($r=0.9986, P<0.001$)。

6. 敏感性分析

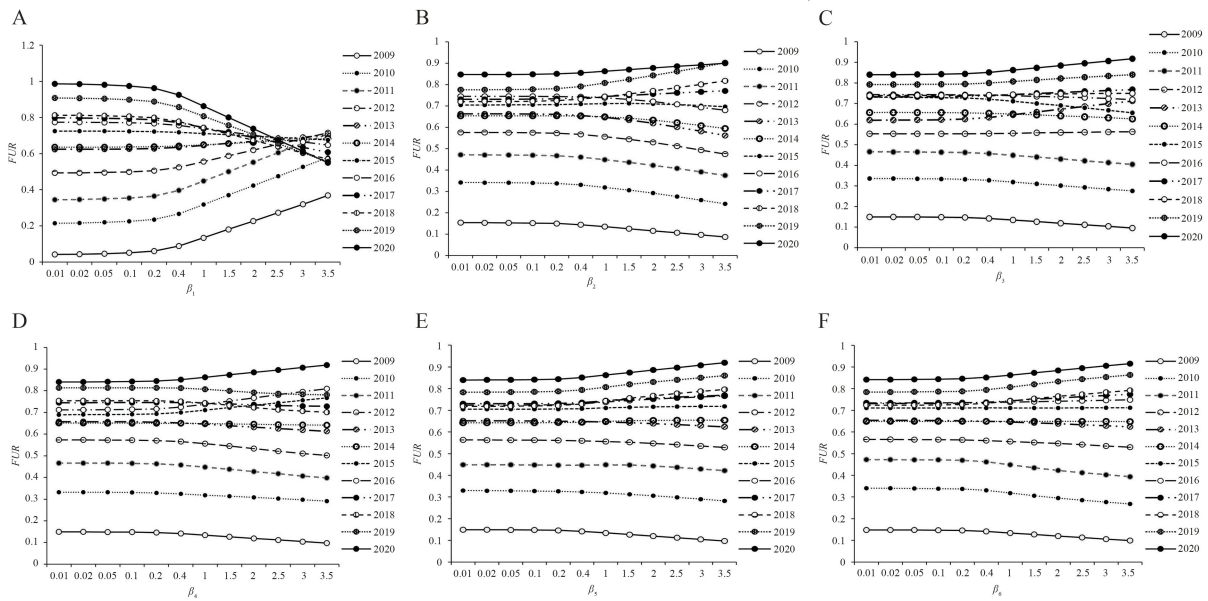
敏感性分析结果示,当任一评价指标权重 W_k 发生变动时,在某一单位变化率下模糊联合结果 FUR 值均发生较大改变,扰乱了原始排名顺序,6 个评价指标的敏感度大小顺序为: $N_1>N_2>N_4>N_3>N_5>N_6$ (图 1)。

表 3 加权 RSR 法评估我国 2009—2020 年儿童保健发展状况

年份	N_1		N_2		N_3		N_4		N_5		N_6		$WRSR$	排序
	值	秩	值	秩	值	秩	值	秩	值	秩	值	秩		
2009	2.40	9	7.70	1	1.71	1	87.1	1	77.2	1	80.0	1	0.2686	12
2010	2.34	11	7.02	2	1.55	2	89.6	2	81.5	2	83.4	2	0.3751	11
2011	2.33	12	6.32	3	1.51	3	90.6	3	84.6	3	85.8	3	0.4584	10
2012	2.38	10	5.89	4	1.44	6.5	91.8	4	87.0	4	88.9	4	0.5019	9
2013	2.44	8	5.53	5	1.37	10.5	93.2	5	89.0	5	90.7	5	0.5514	7
2014	2.61	7	5.37	6	1.48	5	93.6	6	89.8	6	91.3	6	0.5113	8
2015	2.64	6	4.99	8	1.49	4	94.3	10	90.7	7	92.1	7	0.5735	6
2016	2.73	5	5.05	7	1.44	6.5	94.6	11	91.1	8.5	92.4	8	0.6057	5
2017	2.88	4	4.58	9	1.40	9	93.9	8	91.1	8.5	92.6	9	0.6169	3
2018	3.13	3	4.26	10	1.43	8	93.7	7	91.2	10	92.7	10	0.6128	4
2019	3.24	2	4.02	12	1.37	10.5	94.1	9	91.9	11	93.6	11	0.6934	2
2020	3.25	1	4.14	11	1.19	12	95.5	12	92.9	12	94.3	12	0.7310	1

表 4 基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估结果

年份	加权 TOPSIS 法和加权 RSR 法模糊联合						综合排序	
	$W_1(0.1); W_2(0.9)$		排序	$W_1(0.5); W_2(0.5)$		排序		$W_1(0.9); W_2(0.1)$
2009	0.2418	12	0.1343	12	0.0269	12	12	
2010	0.3911	11	0.4553	11	0.5195	11	11	
2011	0.4797	10	0.5650	10	0.6502	10	10	
2012	0.5295	9	0.6400	9	0.7504	9	9	
2013	0.5817	7	0.7032	7	0.8246	8	7	
2014	0.5484	8	0.6966	8	0.8448	7	8	
2015	0.6078	6	0.7451	6	0.8824	6	6	
2016	0.6380	5	0.7673	5	0.8966	5	5	
2017	0.6481	3	0.7730	3	0.8979	4	3	
2018	0.6446	4	0.7718	4	0.8989	3	4	
2019	0.7197	2	0.8251	2	0.9304	2	2	
2020	0.7576	1	0.8639	1	0.9701	1	1	



A: W_1 变动; B: W_2 变动; C: W_3 变动; D: W_4 变动; E: W_5 变动; F: W_6 变动

图 1 敏感性分析图

讨论

加权 TOPSIS 法是多目标决策分析时最常用的分析方法之一^[5]。该方法的局限性是灵敏度低,异常值干扰较大^[8]。加权 RSR 法的基本理论是使用秩转换从 $n \times m$ 矩阵计算无量纲统计指标 $WRSR$,使用参数统计方法探索 $WRSR$ 的分布,并根据 $WRSR$ 排序来评估受试者的状态(最差/最佳),广泛地应用于医疗卫生领域的多目标决策分析^[6]。该方法的局限性在于计算时可能会造成部分初始数据的丢失^[9]。基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估法能够克服两种方法单一评价时的不足,对原始数据的分析更加精准。局限性是可能由于指标权重不一导致评价结果不完全一致,但变动较小^[10]。

研究表明^[11],评价指标的权重大小可能影响多目标决策分析结果。因此,本研究采用熵权法获得儿童保健评价指标的权重,权重系数受到的主观影响较小^[12]。本研究结果发现,评价指标 $N_1 \sim N_6$ 的权重值依次为 0.2779、0.1705、0.1423、0.1387、0.1390、0.1315,敏感度大小顺序为: $N_1 > N_2 > N_4 > N_3 > N_5 > N_6$,得出评价指标 N_1 : 出生体重 < 2500 克婴儿比重的权重系数和敏感度均最高,表明这一指标的变化对我国儿童保健发展质量评估影响最大。

本研究结果发现,我国 2019—2020 年期间儿童保健发展质量整体上逐年上升。2009 年新医改以来,医疗系统在多个方面进行了全面医改,将儿童保健服务纳入基本公共卫生服务,为儿童保健工作发展奠定了制度基础^[13]。基本公共卫生服务均等化与儿童保健有关的服务包括 0~6 岁儿童健康管理、儿童免疫计划接种、新生儿疾病筛查、儿童营养改善等^[14]。此外,不

断增加的资金投入和卫生人力资源配置也保障了儿童保健工作的持续发展^[15]。2009 年新医改后,我国加大了对基本公共卫生资金的投入,包括儿童保健。大多数农村地区都在提供孕产妇和儿童健康服务,并将其作为新农村合作医疗计划报销的一部分^[16]。此外,2009—2020 年间全国妇幼保健单位医护人员年均增长率为 9.35%,医护比从 2009 年 1 : 0.80 上升到 2020 年 1 : 1.28^[17]。

综上,基于熵权的 TOPSIS 法联合 RSR 法综合评估克服了单一评价方法的不足,能够取长补短,各方法的排序值不完全相同,但总体趋势一致。2019 年新医改后,我国儿童保健发展质量整体上逐年上升,评价指标中出生体重 < 2500 克婴儿比重这一指标的权重系数和敏感度均最高,对儿童保健发展质量评估影响最大。这可能对下一阶段制定《中国儿童发展纲要》时评价指标的选择具有一定参考价值。

参考文献

[1] 许珂,贺晓迎. 新时代中国人口结构的发展态势研究——基于对“第七次全国人口普查公报”的分析[J]. 成都行政学院学报, 2022 (2): 33-46+117.

[2] 王玥,汪旭然,敬雯,等. 新疆生产建设兵团 2014—2019 年 7 岁以下儿童保健和健康情况分析[J]. 中国儿童保健杂志, 2021, 29 (12): 1376-1379.

[3] Khan I, Pintelon L, Martin H. The Application of Multicriteria Decision Analysis Methods in Health Care: A Literature Review [J]. Med Decis Making, 2022, 42(2): 262-274.

[4] 魏延萍,高银燕,王晓辉,等. 2006—2018 年白银市儿童保健工作评价——基于 Joinpoint 回归和熵权系数法[J]. 中国初级卫生保健, 2021, 35(9): 52-55.

(下转第 123 页)