

# 疾病治疗质量纵向综合评价模型的构建及在 CIS 中的应用\*

于磊<sup>1,2</sup> 刘梦洋<sup>1</sup> 王超<sup>1</sup> 栗景坤<sup>1</sup> 刘美娜<sup>1△</sup>

**【摘要】**目的 构建疾病治疗质量纵向综合评价模型,应用模型评价急性缺血性脑卒中(cerebral ischemic stroke, CIS)的治疗质量。方法 潜变量测量模型联合多项式和水平回归,建立疾病治疗质量纵向综合评价模型,利用马尔科夫蒙特卡罗(Markov Chain Monte Carlo, MCMC)方法进行参数估计。模拟研究确定模型的适用条件,通过均方根误差(root mean square error, RMSE)和秩相关系数评价模型参数估计的准确性,并与潜变量增长曲线模型(latent growth curve model, LGCM)进行效果比较。结果 构建可用于评价疾病治疗质量纵向变化、趋势变化及协变量影响的综合模型。模拟研究结果:评价对象数对模型效果影响较小,观测时间数 6 个、评价指标数 20 个时,模型可获得评价对象不同时间点治疗质量及变化趋势。治疗质量估计值与真值的秩相关系数均值为 0.8128,高于 LGCM 的 0.7610,协变量回归系数估计值与真值的 RMSE 均值为 0.3756,低于 LGCM 的 0.448;观测时间数及评价指标数越多,纵向综合评价模型效果越准确,且始终高于 LGCM。应用结果:2011 年到 2016 年,医院 CIS 平均治疗质量综合得分增加了 0.9256,二级和三级医院分别增加了 0.9432 和 1.321,教学和非教学医院分别增加了 1.4904 和 1.1155。结论 纵向综合评价模型可以全面合理评价疾病治疗质量及其纵向变化,分析评价对象的差异对变化趋势的影响。我国 CIS 治疗质量总体向好,变化趋势受医院等级及教学状态影响,研究结果可为后续有针对性的治疗质量干预措施制定及治疗质量的持续改善提供参考。

**【关键词】** 治疗质量评价 纵向研究 综合评价模型 急性缺血性脑卒中

**【中图分类号】** R195.1 **【文献标识码】** A **DOI** 10.11783/j.issn.1002-3674.2024.05.006

## Construction of Longitudinal Comprehensive Evaluation Model of Disease Treatment Quality and Its Application in CIS

Yu Lei, Liu Mengyang, Wang Chao, et al (Harbin Medical University, Public Health School, Harbin 150081)

**【Abstract】 Objective** Construct a longitudinal comprehensive evaluation model of disease treatment quality to evaluate the quality of treatment for cerebral ischemic stroke (CIS). **Methods** The latent variable measurement model was combined with polynomial and multilevel regression to establish a longitudinal comprehensive evaluation model of disease treatment quality, the MCMC was used for parameter estimation. Simulation studies were conducted to determine the applicable conditions of the model, the accuracy of model parameter estimation was evaluated by root mean square error and rank correlation coefficient, the results were compared with the latent growth curve model (LGCM). **Results** A comprehensive model that can be used to evaluate the longitudinal change, trend change and the impact of covariates in the quality of disease care was constructed. The number of evaluation objects has a little effect on the model effect. When the number of observation time was 6 and the number of evaluation indicators was 20, the model could obtain the treatment quality and change trend of the evaluation object at different time points. The mean rank correlation coefficient between the estimated value of treatment quality and the true value was 0.8128, which was higher than that of LGCM (0.7610). The mean RMSE between the estimated value of the covariate regression coefficient and the true value was 0.3756, which was lower than that of LGCM (0.448). The more observation time and evaluation indexes, the more accurate the longitudinal comprehensive evaluation model was, and it was always higher than LGCM. From 2011 to 2016, the average CIS quality of care comprehensive score of hospitals increased by 0.9256, secondary and tertiary hospitals increased by 0.9432 and 1.321, teaching and non-teaching hospitals increased by 1.4904 and 1.1155. **Conclusion** The longitudinal comprehensive evaluation model can comprehensively and reasonably evaluate the quality of disease treatment and its longitudinal changes, and analyze the impact of differences in evaluation objects on the change trend. The quality of CIS treatment in China is generally good, and the changing trend is affected by the level of hospitals and teaching status. The results of this study can provide reference for the subsequent development of targeted treatment quality intervention measures and continuous improvement of treatment quality.

**【Key words】** Treatment quality evaluation; Longitudinal study; Comprehensive evaluation model; Cerebral Ischemic Stroke

治疗质量综合评价方法分为非潜变量方法和潜变量方法<sup>[1]</sup>。非潜变量方法包括全或无法、质量得分界值法、患者平均法、指标权重法等,主要通过不同组合方式将一系列单指标进行综合,以综合得分代表综合

治疗质量水平。潜变量方法则是将治疗质量作为不可观测的潜变量放入模型,通过对模型参数进行估计,获得治疗质量后验估计值。利用现有综合评价方法进行治疗质量纵向综合评价时,多为横断面和单指标纵向评价。横断面研究无法体现治疗质量的变化趋势,单指标纵向评价结果有时会互相矛盾,利用纵向数据分析方法获得治疗质量的变化趋势及差异,参数估计存在偏差。基于此,为全面合理地评价疾病治疗质量纵

\* 基金项目:国家自然科学基金(82173614)

1. 哈尔滨医科大学卫生统计学教研室(150081)

2. 吉林医药学院流行病与卫生统计学教研室

△通信作者:刘美娜, E-mail: liumeina369@163.com

向变化,本研究将潜变量测量模型与多项式和多水平回归模型结合进行联合建模,构建疾病治疗质量纵向综合评价模型,并用于 CIS 治疗质量的纵向综合评价,为 CIS 治疗质量干预与改善提供依据。

### 方法构建

#### 1. 构建治疗质量纵向综合评价方法

(1) 本研究以治疗质量为潜变量,两参数的 logistic 项目反应模型作为测量模型<sup>[2]</sup>。假定有  $K$  个评价指标被划分为  $W$  个维度,  $W_k$  为第  $w$  个维度的治疗质量支配的指标数,  $T$  为观测时间数,  $p_{ikwt}$  表示第  $i$  个评价对象在第  $t$  个时间点对第  $w$  个维度第  $k$  个评价指标的使用概率,  $a_{kw}$  和  $b_{kw}$  分别为第  $w$  个维度第  $k$  个评价指标的区分度参数(斜率)和难度参数(截距)。 $\theta_{iwt}$  为第  $i$  个评价对象在第  $t$  个时间点第  $w$  个维度的潜变量(治疗质量)。将  $p_{ikwt}$  与  $\theta_{iwt}$  以 logit 函数连接,设置  $D_w$  和  $z_{wk}$  分别为潜变量不同维度和同一维度内不同评价指标的哑变量,当属于目标维度和评价指标时赋值为 1,不属于为 0。以  $\omega_w$  为第  $w$  个维度的权重,  $w = 1, \dots, W$ 。不同时间点评价对象综合治疗质量  $\theta_{i0t}$  可表示为  $W$  个维度治疗质量  $\theta_{iwt}$  的线性组合。见公式(1)(2)。

(2) 利用多项式回归,拟合治疗质量的变化趋势模型。趋势轨迹可由截距参数  $\pi_{0wi}$  和变化趋势参数向量  $\pi_{hwi}$  决定。 $d_{it}$  为时间参数,即已经被观测次数。 $e_{iwt}$  为评价对象个体水平的随机误差项,  $e_{iwt} \sim (0, \sigma^2)$ 。基于多水平模型的思想,将纵向变化趋势模型中的变化趋势参数作为下一水平的因变量,构建多水平回归模型。其中  $x_{swi}$  为第  $i$  个评价对象第  $w$  个维度第  $s$  个协变量,  $\beta_{hws}$  为  $x_{swi}$  对第  $h$  个变化趋势参数的作用。 $u_{hwi}$  为评价对象  $i$  在该水平的随机效应。 $u_{hwi}$  构成的向量  $u = (u_{0wi}, u_{1wi}, \dots, u_{hwi})$  服从期望为 0, 方差为  $\Omega_{(H+1) \times (H+1)}$  的多元正态分布。见公式(3)(4)。

将上述构建的综合治疗质量评价模型、纵向变化趋势模型及多水平回归模型进行整合,构建疾病治疗质量纵向综合评价模型如下:

$$\begin{cases} \text{logit}(p_{ikwt}) = \sum_{w=1}^W D_w \sum_{k=1}^{W_k} z_{wk} \cdot [\alpha_{kw}(\theta_{iwt} - b_{kw})] & (1) \\ \theta_{i0t} = \sum_{w=1}^W \omega_w \theta_{iwt} & (2) \\ \theta_{iwt} = \pi_{0wi} + \pi_{1wi}d_{it} + \pi_{2wi}d_{it}^2 + \dots + \pi_{hwi}d_{it}^h + e_{iwt} & (3) \\ \pi_{hwi} = \beta_{hw0} + \beta_{hw1}x_{1wi} + \beta_{hw2}x_{2wi} + \dots + \beta_{hws}x_{swi} + u_{hwi} & (4) \end{cases}$$

#### 2. 方法的参数估计

采用联合 Bayes 算法,利用 MCMC 进行参数估计。待估参数先验分布设置如下:  $a_{kw} \sim U(0.4, 1.3)$ ,  $b_{kw} \sim N(0, 1)$ ,  $\omega_w \sim U(0, 1)$ ,  $\pi_{hwi} \sim N(0, 1)$ , 各时间点的治疗质量设置为多层先验,水平 1 的残差  $\sigma^2$  的先验分

布为 Inverse-Gama 分布,水平 2 协方差矩阵  $\Omega$  的先验分布为 Inverse-Wishart 分布。

### 模拟研究

#### 1. 模拟实验条件设置

模拟实验条件设置 3 个因素:评价指标数、观测时间数及评价对象数。每一因素设定条件如下:评价指标数设定 4 个水平,  $K = 6, 12, 20, 28$ ; 观测时间数 4 个水平,  $T = 3, 6, 8, 12$ ; 评价对象数 5 个水平,  $N = 10, 30, 50, 70, 100$ 。治疗质量维度设定为 3 个,纵向趋势模型采用二次增长模型拟合,协变量为 2 个,以不同维度治疗质量为例,纵向变化模型设置情况见公式(5)。

$$\begin{cases} \theta_{iwt} = \pi_{0wi} + \pi_{1wi}d_{it} + \pi_{2wi}d_{it}^2 + e_{iwt} \\ \pi_{0wi} = \beta_{0w0} + \beta_{0w1}x_{1wi} + \beta_{0w2}x_{2wi} + u_{0wi} \\ \pi_{1wi} = \beta_{1w0} + \beta_{1w1}x_{1wi} + \beta_{1w2}x_{2wi} + u_{1wi} \\ \pi_{2wi} = \beta_{2w0} + \beta_{2w1}x_{1wi} + \beta_{2w2}x_{2wi} + u_{2wi} \end{cases} \quad (5)$$

#### 2. 模拟数据产生

变化趋势模型中水平 1 的残差  $\sigma^2$  设定为 0.15。 $a_k$  真值由  $U(0.4, 1.3)$  分布中产生,  $b_k$  真值由  $N(0, 1)$  中产生。模拟产生每一个评价对象不同时间点治疗质量真值。不同时间点治疗质量可由  $\theta_{it} = \pi_{0i} + \pi_{1i}d_{it} + \pi_{2i}d_{it}^2 + \dots + \pi_{hi}d_{it}^h + e_{it}$  表达。治疗质量参数向量  $\theta_i = (\theta_{i1}, \theta_{i2}, \dots, \theta_{ih})^T$  可简记为:  $\theta_i = D_i\pi_i + e_{it}$ 。  $e_{it} \sim N(0, 0.15)$ 。时间荷载矩阵  $D_i$  可直接确定。随机回归系数向量  $\pi_i$  服从以  $X\beta$  为均值向量,  $\Omega$  为协方差矩阵的多元正态分布。协变量  $X$  从  $N(0.5, 1)$  中产生,回归系数  $\beta$  和协方差矩阵分别指定为:

$$\text{回归系数 } \beta = \begin{pmatrix} 0 & 0.15 & 0.5 \\ 0.35 & 0.05 & 0.15 \\ 0.3 & 0.225 & 0.05 \end{pmatrix}, \text{ 协方差矩阵 } \Omega = \begin{pmatrix} 0.1 & 0.05 & 0.025 \\ 0.05 & 0.1 & 0.005 \\ 0.025 & 0.005 & 0.1 \end{pmatrix}.$$

3 个维度的权重设为 0.2、0.3、0.5,基于其他参数取值,生成不同评价对象不同时间点的治疗质量真值。最后,依次生成每个指标的分母、分子。指标分母不少于 20,从均匀分布  $U(20, 100)$  中生成并取整。基于之前产生的指标项目参数和治疗质量真值,计算得到评价对象不同时间点每一维度的指标使用概率,与分母数相结合最终获得指标分子。

#### 3. 模拟试验评价指标

参数估计偏差利用 RMSE 和秩相关系数衡量,取值越小,估计越准确。项目参数、各时间点治疗质量参数估计的准确性,同时采用 RMSE 和秩相关系数衡量;协变量回归系数估计的准确性,只采用 RMSE 衡量。本研究构建的模型(Method 1)与 LGCM(Method 2)各时

间点治疗质量参数估计的准确性利用秩相关系数进行比较,回归系数估计的准确性利用 RMSE 比较。

#### 4. 模拟实验结果

##### (1) 项目参数的模拟研究结果

区分度参数  $a_{kw}$  的 RMSE 均值为 0.1145, 秩相关系数均值为 0.9617。随着评价指标数的增加,  $a_{kw}$  的

RMSE 取值呈现明显的下降趋势, 当指标数增加到 20 个时, RMSE 变异减小, 取值在 0.05 附近。随着指标数的增加,  $a_{kw}$  的秩相关系数取值呈现上升趋势, 与 RMSE 相似, 当指标数达到 20 个时秩相关系数变异减小, 取值稳定在 0.98 附近。不同观测时间数和评价对象数之间的  $a_{kw}$  的 RMSE 和秩相关系数变异较小, 见图 1。

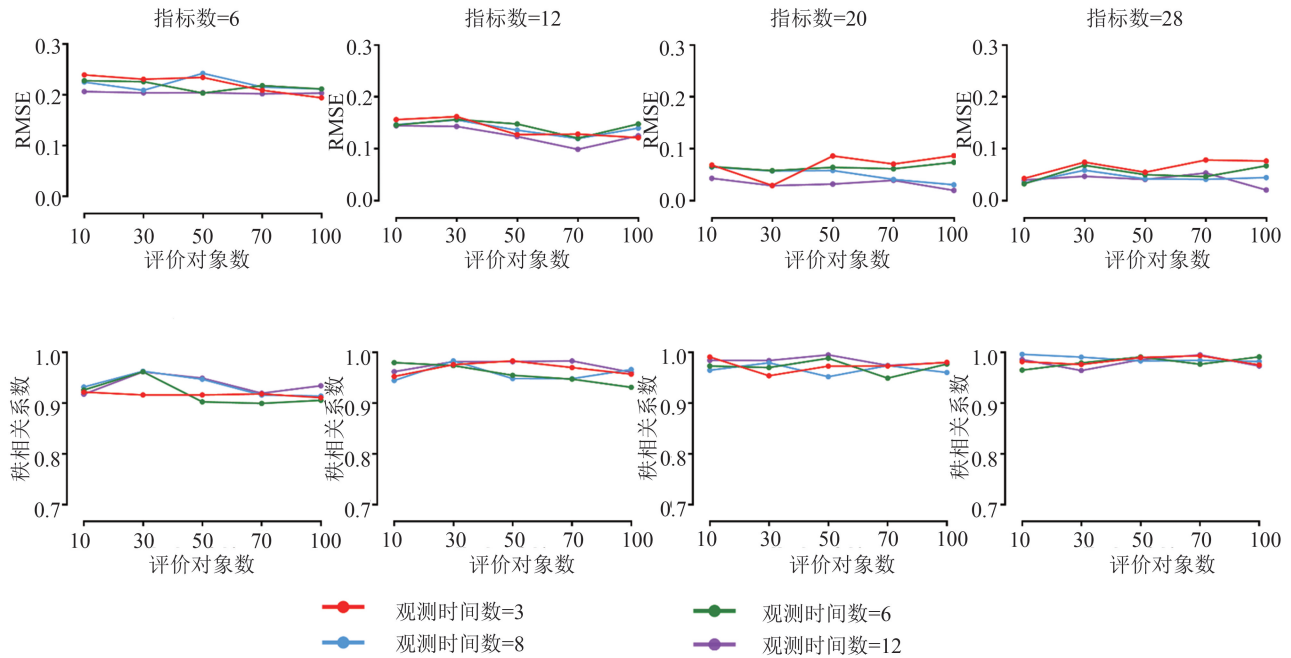


图 1 不同模拟条件下指标区分度参数估计值与真值的 RMSE 及秩相关系数

难度参数  $b_{kw}$  的 RMSE 均值为 0.1535, 秩相关系数均值为 0.9239。在不同观测时间数和评价对象数之间,  $b_{kw}$  的 RMSE 和秩相关系数差异较小。评价指标数

对  $b_{kw}$  的 RMSE 和秩相关系数有很大的影响, 指标数达到 20 个时, 其 RMSE 和秩相关系数参数估计的准确性逐渐稳定, 见图 2。

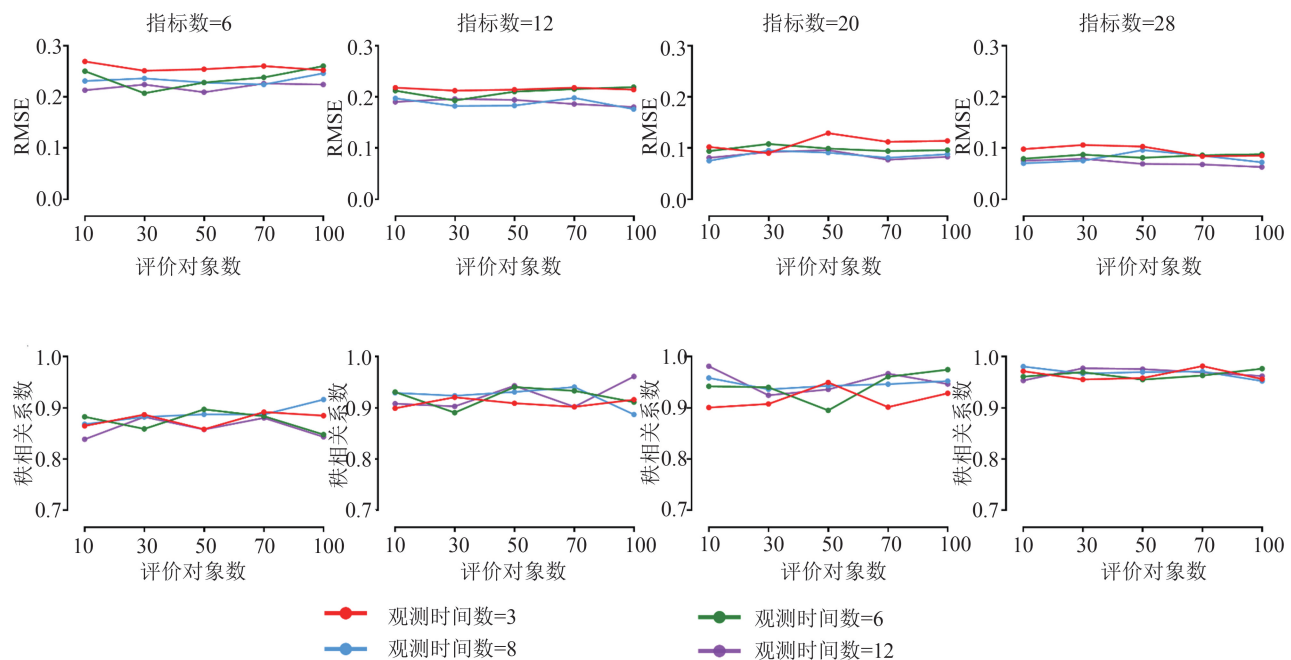


图 2 不同模拟条件下指标难度参数估计值与真值的 RMSE 及秩相关系数

(2) 各时间点治疗质量模拟研究结果及模型比较  
不同时间点治疗质量  $\theta_{iwr}$  的 RMSE 均值为 0.3280。

不同评价指标数之间  $\theta_{iwr}$  的 RMSE 差异不大。  $\theta_{iwr}$  的 RMSE 随时间点数的增加而减少, 但随着评价对象数

的增加,整体上下降趋势逐渐减弱,见图 3。

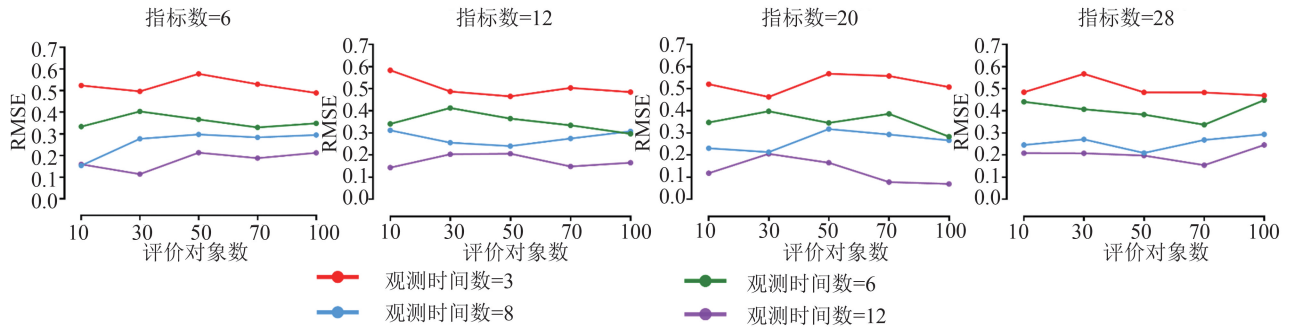


图 3 不同模拟条件下不同时间点治疗质量估计值与真值的 RMSE

本研究构建评价模型估计各时间点治疗质量  $\theta_{iwr}$  的秩相关系数均值为 0.8128, 高于 LGCM 的 0.7610。如图 4 所示,随着观测时间点的增加,两种方法  $\theta_{iwr}$  的秩相关系数均有明显的增大,当评价对象数逐渐增

多时,增大趋势减弱。结合图 3,当观测时间数达到 6 个时,所构模型在大多数条件下参数估计的准确性已在可接受的范围内, RMSE 低于 0.3, 秩相关系数高于 0.8。

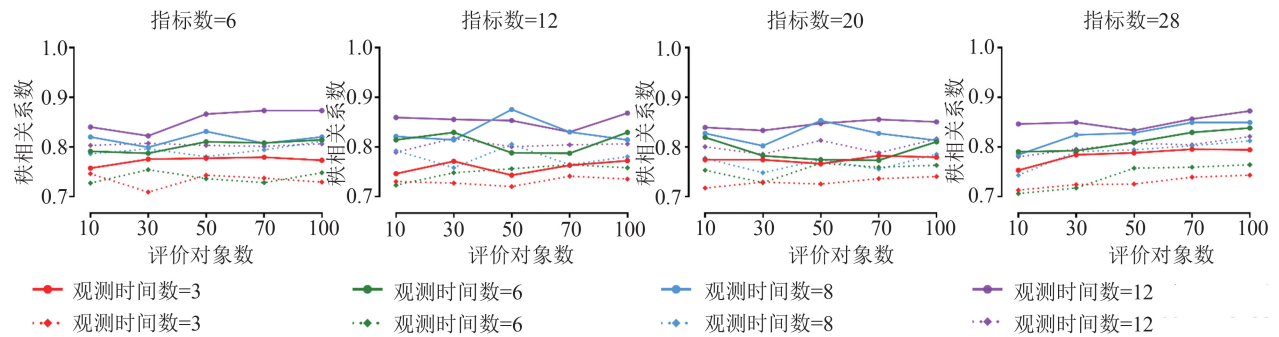


图 4 两种方法在不同模拟条件下不同时间点治疗质量估计值与真值的秩相关系数

(3) 回归系数  $\beta$  模拟研究结果及模型比较

本研究构建评价模型估计回归系数  $\beta$  的 RMSE 均值为 0.3756, 低于 LGCM 估计的 0.4448。两种方法

估计  $\beta$  的 RMSE 在不同评价指标数之间的差异较小, 对  $\beta$  估计的准确性随模拟条件变化趋势总体上保持一致, 见图 5。

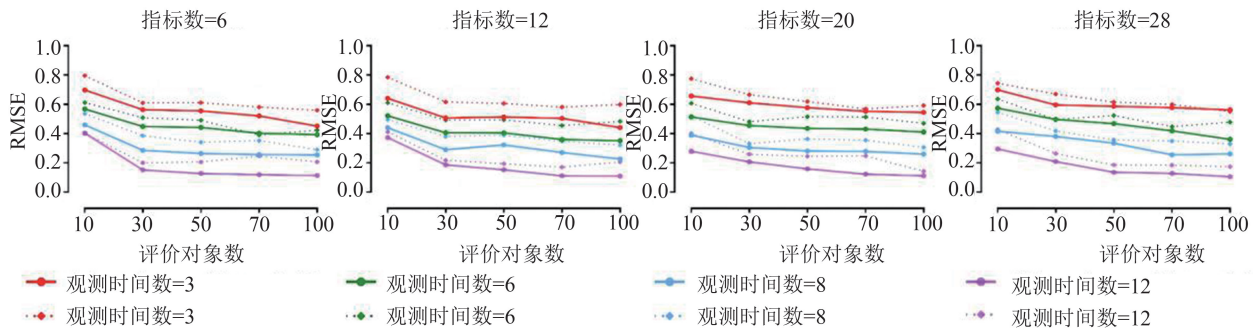


图 5 两种方法在不同模拟条件下协变量的回归系数估计值与真值的 RMSE.

实例应用

1. 数据来源

研究数据来源于国家卫生健康委医院管理研究所“特定(单)病种质量监测系统”。77 家医院 2011—2016 年连续上报的 112907 例 CIS 患者数据纳入研究。利用国家急性缺血性脑卒中治疗质量控制指标<sup>[3]</sup>, 选取诊断检查、治疗、功能评价和院内结局 4 个维度共 13 个评价指标, 所有指标均为高优、二分类指

标。见表 1。

2. CIS 治疗质量的纵向评价

利用本研究构建的治疗质量纵向综合评价模型, 对医院 CIS 的治疗质量进行纵向综合评价。设定多项式中最高次项为二次型。对每一维度和综合治疗质量的纵向变化建立所有可能情况组合, 计算各组合模型偏差信息准则及回归系数后验均值 95% 最大后验密度区间 (HPDI), 最终确定式 (6) 为综合治疗质量纵向变化的真实模型。

表 1 急性缺血性脑卒中质量治疗评价指标

维度	编号	指标名称
诊断检查	1	15 min 内神经内科医师接诊
	2	45 min 内进行首次神经功能 NIHSS 评估
	3	45 min 内首次头颅 CT 检查
	4	45 min 内临床检验检查
	5	45 min 内首次 ECG 报告
疾病治疗	6	急性溶栓治疗
	7	入院 48 h 内抗血小板治疗
	8	入院后进行血脂评价
功能评价	9	使用他汀药物治疗
	10	进食前进行吞咽困难评价
	11	预防深静脉血栓
	12	住院 1 周内接受血管功能评价
院内结局	13	出院时患者 mRS 评分=0~2

$$\begin{cases} \theta_{i0t} = \pi_{00i} + \pi_{10i}d_{it} + \pi_{20i}d_{it}^2 + e_{i0t} \\ \pi_{00i} = \beta_{000} + \beta_{001}class_i + \beta_{002}university_i + u_{00i} \\ \pi_{10i} = \beta_{100} + \beta_{101}class_i + \beta_{102}university_i + u_{10i} \\ \pi_{20i} = \beta_{200} + \beta_{201}class_i + \beta_{202}university_i + u_{20i} \end{cases} \quad (6)$$

通过参数估计,获得各维度各时间点治疗质量后验估计值  $\theta_{i0t}$  并计算不同时间点综合治疗质量  $\theta_{i0t}$  (篇幅原因,此处不予列出),不同时间点综合治疗质量平均水平情况见表 2。

表 2 77 家医院不同时间点综合治疗质量平均水平

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016
综合治疗质量平均水平	2.4823	2.6357	3.1600	3.6900	3.6438	3.4079

通过参数估计,获得协变量回归系数的后验估计值  $\beta$ ,见表 3。2011 年到 2016 年,医院 CIS 平均治疗质量综合得分增加了 0.9256,其中,二级和三级医院分别增加了 0.9432 和 1.3210,教学和非教学医院分别增加了 1.4904 和 1.1155。相较于二级医院和非教学医院,三级医院和教学医院 CIS 平均治疗质量综合得分提升更多,见图 6。

表 3 协变量对医院综合治疗质量变化趋势影响的回归系数后验均值

回归系数	后验均值	标准差	后验均值 95% HPDI
$\beta_{00}$	1.9551	0.2996	1.3582~2.5520
$\beta_{01}$	1.1820	0.1723	0.8432~1.5207
$\beta_{02}$	1.1423	0.4582	0.2413~2.0432
$\beta_{10}$	1.5504	0.3441	0.8647~2.2361
$\beta_{11}$	0.6911	0.1777	0.3416~1.0406
$\beta_{12}$	0.9460	0.1355	0.6796~1.2123
$\beta_{20}$	1.2761	0.2611	0.7560~1.7963
$\beta_{21}$	0.1384	0.0241	0.09107~0.1858
$\beta_{22}$	0.1032	0.0189	0.06596~0.1405

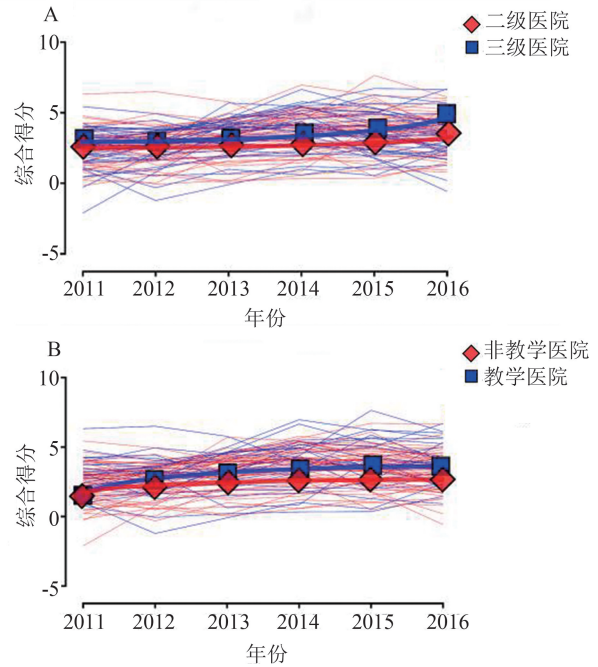


图 6 不同等级和教学状态医院综合治疗质量变化趋势情况

### 讨论

治疗质量评价是基于客观且可以测量的评价指标,评价医疗卫生服务者治疗实施情况的过程<sup>[4-5]</sup>。基于治疗质量评价结果制定有针对性的医疗改革干预措施及相应的辅助政策,可实现稳步提高医疗质量,改善患者结局及生存质量的目标<sup>[6-7]</sup>。本研究将潜变量测量模型与多项式和水平回归模型结合进行联合建模,构建的治疗质量纵向综合评价模型兼具了 3 种模型的优势。潜变量测量模型在估计治疗质量时考虑了指标间的相关性,基于模型估计的区分度参数获得每项指标的权重。当评价指标的分母较小时,应用收缩估计方法提高估计的鲁棒性,可以提供综合得分的可信区间,治疗质量估计值更为可靠。多水平回归模型将测量模型的潜变量作为因变量整合进多水平结构模型,捕获层次结构的所有级别<sup>[8]</sup>,可有效地处理治疗质量在不同医生和医院间存在的层次结构问题。多项式回归模型通过增加参数的高次项实现对测量值的逼近,可以描述不同评价对象治疗质量可能存在的曲线变化趋势。

实例中,在 2011 年至 2016 年之间,医院 CIS 综合治疗质量水平总体呈增长趋势,可为医疗管理部门掌握医疗改革效果提供简单且直观的总体展示,进一步证实了我国医疗质量总体向好。研究结果发现变化趋势也受到医院等级和教学情况的影响,三级医院拥有更多的 CIS 患者诊疗经验和医疗资源,教学医院在师资队伍、临床实践、科学研究等方面,具有一定的水平、特色和优势,表明了诊疗经验和医疗资源在提高疾病治疗质量中的重要性<sup>[9]</sup>。

(下转第 670 页)