

基于随机前沿分析模型的深圳市三级医院科研效率研究*

单治易

(中国医学科学院/北京协和医学院医学信息研究所 北京 100020)

关陟昊

蔡荣 苟欢 童俞嘉 王琰 安新颖

(中国农业科学院农业信息研究所
北京 100081)

(中国医学科学院/北京协和医学院医学信息
研究所 北京 100020)

〔摘要〕 阐述医院科研效率评价体系构建方法,运用主成分分析、随机前沿分析等方法评价科研效率并分析主要影响因素,提出建议,包括加大医院科研人员投入、优化科研管理评价体系、调控基金项目投入等。

〔关键词〕 随机前沿分析;科研效率;三级医院;主成分分析

〔中图分类号〕 R-058 〔文献标识码〕 A 〔DOI〕 10.3969/j.issn.1673-6036.2023.04.008

Research Efficiency of Tertiary Hospitals in Shenzhen Based on Stochastic Frontier Analysis Model SHAN Zhiyi, Institute of Medical Information, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100020, China; GUAN Zhihao, Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agriculture Sciences, Beijing 100081, China; CAI Rong, GOU Huan, TONG Yujia, WANG Yan, AN Xinying, Institute of Medical Information, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100020, China

〔Abstract〕 The paper expounds the construction methods of hospital research efficiency evaluation system, uses principal component analysis (PCA), stochastic frontier analysis and other methods to evaluate research efficiency and analyzes the main influencing factors, and puts forward suggestions, including increasing the investment of hospital research personnel, optimizing the research management evaluation system, regulating the investment of fund projects, etc.

〔Keywords〕 stochastic frontier analysis; research efficiency; tertiary hospital; principal component analysis (PCA)

〔修回日期〕 2022-11-02

〔作者简介〕 单治易,硕士研究生,发表论文8篇;通信作者:安新颖,研究员,硕士生导师。

〔基金项目〕 中国医学科学院医学与健康科技创新工程项目“生物医学文献信息保障与集成服务平台”(项目编号:2021-I2M-1-033);中国医学科学院中央级公益性科研院所基本科研业务费“卓越导向的医学科技成果评价与激励机制研究”(项目编号:2022-ZHL630-01)。

1 引言

《“健康中国 2030”规划纲要》提出改革创新要发挥科技创新的作用^[1]。医院科技创新成果可以在科研效率层面体现。评价医院科研效率,既可以掌握当前医院的科研效率水平,作为资金项目在各家医院的投入依据,又可以作为优化医院管理的参考^[2]。我国卫生医疗资源在一定程度上存在“马太效应”,科研基金项目在重点医院存在聚集效应^[3]。在这种条件下,盲目加大投入医疗卫生资源不仅达不到提高医院科研效率的目的,还会造成资源浪费。提高医院科研效率可以为固定的科研基金数额带来更高回报,是医院管理者和决策者的主要目标之一。

近年来,深圳市政府大量投入资金到公立医院,扩大医院规模,为深圳市人口老龄化做准备。深圳市医疗资源丰富,当地三级医院不仅为深圳市居民提供医疗服务,还承担着治疗全国各地疑难病的责任。研究医院科研效率意义重大,但相关研究较少^[4]。本研究运用随机前沿分析评价 2019 年深圳市 36 家三级医院的科研效率,分析影响科研效率的主要因素。根据研究结果拟定相关建议,以期为医院提高科研效率、加快推进“健康中国”建设提供参考。

2 方法

2.1 评价医院科研效率的主要方法

评价医院科研效率的方法主要分为参数法和非参数法。参数法的代表方法是随机前沿分析。该方法由 Aigner D^[5]提出,将实际生产面与前沿面的距离解释为技术无效率项和随机误差项。非参数法的代表方法是数据包络分析。该方法由 Meeusen W^[6]提出,使用距离函数计量实际生产面与前沿面的距离。因为数据包络分析没有考虑随机误差项,将随机误差项归结为不同评价对象的效率不同,所以不能进一步对科研效率进行评价,进而导致相对较高的科研效率误差^[7]。随机前沿分析根据对数据的随

机性假设,在计量误差和干扰方面具有相对较好的效果,并且能较好地计量多投入变量和多产出变量之间的关系。因此本研究选择随机前沿分析。

2.2 随机前沿分析

随机前沿分析有两种生产函数模型,一种是柯布-道格拉斯生产函数模型,另一种是超越对数生产函数模型^[6]。虽然前者形式和计量相对前者复杂,但是能体现出各投入指标的联系和差异^[8]。所以选择超越对数生产函数模型分析医院的科研效率:

$$Y_{it} = f(K_{it}; \beta_1) f(L_{it}; \beta_2) \exp(V_{it} - U_{it}) \quad (1)$$

$$Y_{it}^* = f(K_{it}; \beta_1) f(L_{it}; \beta_2) \exp(V_{it}) \quad (2)$$

其中, Y_{it} 表示样本 i 医院在 t 年的实际科研产出综合指标, Y_{it}^* 表示样本 i 医院在 t 年的科研生产前沿面。 K_{it} 表示样本 i 医院在 t 年的科研经济总数。 L_{it} 表示样本 i 医院在 t 年的科研人员总数。 β_1 、 β_2 表示待估参数向量。 V_{it} 是随机扰动项,表示生产过程中面临的外界随机冲击, V_{it} 服从均值为 0 的正态分布。 U_{it} 表示各种不可观测的非效率因素。假定 V_{it} 与 U_{it} 独立分布,且与自变量不相关。样本 i 医院在 t 年的科研效率为:

$$TE_{it} = \frac{Y_{it}}{Y_{it}^*} = \exp(-U_{it}) \quad (3)$$

TE_{it} 是样本 i 医院在 t 年的科研效率。数值越高代表科研效率越高,而潜力越小。在分析医院科研效率前需要检验无效率项是否存在。方差参数为:

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \quad (4)$$

当 γ 接近 1 时,存在无效率项。这时前沿生产函数的波动主要来源于非效率因素。选择随机前沿计量分析生产函数效果更好。

随机前沿分析是国外评价医院效率方面的主流方法之一,被认为是一种有效的评价方法。Hamidi S^[9]基于随机前沿分析衡量巴基斯坦政府医院的效率。Blatnik P^[10]利用随机前沿分析和数据包络分析评价斯洛文尼亚医院的经济效率,以帮助医院管理人员、投资人和医疗保健政策制定者更好地了解医院的运作方式。Pross C^[11]通过随机前沿分析评估德国医院资源和护理方面的效率,从而改善绩效,提高护理质量和资源利用率。Ren W^[12]研究中国河南

省公立中医院数据,运用随机前沿分析评估医院最佳的投资规模和结构,以最大程度提高投入产出效率。

2.3 主成分分析

因为随机前沿分析要求产出变量为单一变量,但是现实中医院的科研产出包括科学引文索引扩展版(science citation index expanded, SCIE)收录论文、中文核心期刊论文、发明专利、中华人民共和国卫生行业标准、临床指南、临床试验等。同时,多个产出指标间具有一定相关性。所以选择主成分分析多个产出指标,使多个产出指标降为数量相对较少的指标,并计量产出指标的综合得分。主成分分析是一种常用的降维方法^[13]。本文首先分析 2 级指标的主成分,作为新指标,以实现简化评价体系的目的。再运用随机前沿分析评价深圳市 36 家三级医院的科研效率,分析影响科研效率的主要因素。

3 实证分析

3.1 科研投入产出变量及数据来源

3.1.1 科研投入变量设计 依据深圳市卫生健康委员会提供的 2019 年数据分析深圳市 36 家三级医院科研效率。借鉴高校科研效率评价研究所考虑的投入、产出变量并结合医学特点,考虑数据的可获得性^[4]。在科研投入变量方面,主要考虑人员和财力两个方面的指标变量。因为难以界定医院中科研人员标准(具备一定科学理论知识并从事科学研究工作的人员),所以选择医药护技人员总数代表“人”的指标变量。代表财力的指标变量是科研项目数和编制床位数。编制床位数作为医院有形固定资产计算在财力指标变量^[14]。其中科研基金项目包括近 5 年国家自然科学基金项目、国家科技重大专项项目、国家重点研发计划项目、广东省科技厅项目、广东省卫生健康委员会项目、广东省中医药管理局项目、深圳市科技创新委员会立项项目、深圳市卫生健康系统科研项目。科研基金项目投入指标不仅考虑数量还考虑质量。因为科研基金项目存在等级差异,分别对不同等级科研项目进行赋权加总,赋权数值通过专家咨询法得出,见表 1。

表 1 科研项目分值(部分)

科研项目	分值
国家重点研发计划首席项目(牵头)	10
国家重点研发计划课题(牵头)	8
国家科技重大专项课题(牵头)	8
国家自然科学基金重大项目(牵头)	8
国家重点研发计划子课题	6
国家科技重大专项任务(牵头)	6
国家自然科学基金重大课题	6
国家自然科学基金重大研究计划	6
广东省科技厅项目	4
广东省卫生健康委员会项目	3
广东省中医药管理局项目	3
深圳市科技创新委员会立项项目	2
深圳市卫生健康系统科研项目	2

3.1.2 科研产出变量数据来源 在科研产出变量方面,选择 SCIE 收录论文数量(以第一作者或通信作者发表并按 SCI 论文分区进行加权)、中文核心期刊论文数量(以第一作者或通信作者发表为准)、SCIE 论文总被引频次、中文核心期刊总被引频次、发明专利数和中华人民共和国卫生行业标准及临床指南数量。本研究中科研产出数据均来源于中国医学科学院医学信息研究所科技评价基础数据库。其中中文核心期刊论文数和总被引频次数据来源于中国医学科学院医学信息研究所中国生物医学文献服务系统(SinoMed)。英文期刊论文总数和总被引频次数据来源于 SCIE 数据库。发明专利数来源于中国专利检索系统。中华人民共和国卫生行业标准数据来源于国家标准化委员会。临床指南数据来源于临床指南数据库。本研究选择的医院数大于投入变量数和产出变量数乘积的 2 倍,具有良好的实验效果。

3.1.3 变量初步统计 从投入要素指标看,本研究纳入的医院在医药护技人员总数、科研项目数和编制床位数的指标上存在较大差异,说明各医院规模有所不同。从产出要素指标看,虽然中文核心论文数的最大值和均值高于 SCIE 论文收录数,但在论文的总被引频次上却远低于 SCIE,说明医院科研

人员在外文期刊上发表的论文影响力更大。各指标 描述性统计，见表 2。

表 2 科研投入产出指标变量统计

要素	变量	最小值	最大值	均值	标准差
投入	医药护技人员总数	212	4 355	1 371.03	785.45
	科研项目数 (项)	0	79	13.89	19.62
	编制床位数 (张)	100	2 300	914.22	476.91
产出	SCIE 收录论文数 (篇)	1	172	29.72	40.83
	中文核心论文数 (篇)	4	207	57.19	52.67
	SCIE 论文总被引频次	3	2 371	354.53	598.04
	中文核心论文总被引频次	0	14	3.31	3.46
	发明专利数 (项)	0	16	1.14	3.04
	卫生行业标准及临床指南数量 (项)	0	2	0.08	0.36

3.2 数据预处理

初步统计 2 级指标变量，可以看出深圳市三级医院在财力、人员投入方面和科研产出方面差异较大。使用 SPSS 27.0 软件对 2 级产出指标进行主成分分析。先将 2 级产出指标利用 Z-score 法进行标准化处理。再对其进行因子分析适用性检测，其中

取样适当性 (Kaiser - Meyer - Olkin, KMO) 度量为 0.68, 大于 0.6。Bartlett's 球性检验 P 值小于 0.05, 符合因子分析, 见表 3。保留两个主成分因子, 累积方差贡献率为 85.50%, 大于 60%, 所以这两个主成分因子能够描述产出水平, 设为 Y_1 和 Y_2 。选择旋转后的成分矩阵, 见表 4。

表 3 总方差解释

成分	初始特征值			提取载荷平方和			旋转载荷平方和		
	总计	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)	总计	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)	总计	方差贡献率 (%)	累积方差贡献率 (%)
1	4.198	69.972	69.972	4.198	69.972	69.972	3.050	50.838	50.838
2	0.931	15.524	85.496	0.931	15.524	85.496	2.079	34.658	85.496
3	0.412	6.872	92.368						
4	0.339	5.646	98.014						
5	0.086	1.427	99.441						
6	0.034	0.559	100.000						

表 4 成分矩阵得分系数

2 级产出指标	Y_1	Y_2
Z-score (SCIE 收录论文数)	0.250	0.040
Z-score (SCIE 论文总被引频次)	0.264	0.006
Z-score (中文核心论文总被引频次)	-0.239	0.611
Z-score (中文核心论文数)	-0.186	0.565
Z-score (卫生行业标准及临床指南数量)	0.420	-0.253
Z-score (发明专利数)	0.362	-0.147

通过计算可以得出, 医院科研效率的综合产出值 (Y) 与每个 2 级产出指标变量的联系。

$$Y = (50.838\% * Y_1 + 34.658\% * Y_2) / 85.496\% \quad (5)$$

3.3 随机前沿分析结果

采用 Frontier 4.1 软件对深圳市三级医院科研效率进行计量分析。将标准化后的综合产出值、综合财力值和医药护技人员总数导入, 见表 5。

表 5 Frontier 分析结果

参数	系数 t	标准误差	t
β_0	0.502 8	0.012 2	3.145 9
β_1	0.339 3	0.026 3	13.063 5
β_2	0.757 9	0.020 4	3.082 2
σ^2	2.908 2	0.619 6	6.766 7
γ	0.982 0	0.007 4	13.405 3

$\gamma = 0.982$ ，说明存在无效率项且具有 1% 显著统计学水平。所以使用随机前沿分析对深圳市三级医院进行计量分析是可行的。 β_0 、 β_1 和 β_2 都通过 1% 显著性检验。财力投入参数 $\beta_1 = 0.339 3$ ，说明每多投入 1% 的财力（包括科研项目和编制床位），医院科研产出增加 0.339 3%。因为 β_1 和 β_2 都是正数，并且 β_1 小于 β_2 ，所以财力投入和人员投入对医院科研产出均起促进作用，并且人员投入对促进医院科研产出的效果要好于财力投入。本研究认为，医院科研产出主要来源于相关人员。所以相对于财力投入，人员投入更重要。深圳市 36 家三级医院科研效率分析结果，见表 6。

表 6 深圳市三级医院科研效率（仅展示 10 家医院）

深圳市三级医院	相关 人员总数	科研项目 得分总和	编制床 位数（张）	综合产出值 (0-1 标准化)	科研 效率(%)
医院 1	1 327	76	1 000	0.15	33.26
医院 2	1 064	12	800	0.04	18.99
医院 3	2 525	150	1 600	0.90	95.68
医院 4	964	21	809	0.04	19.35
医院 5	1 726	36	995	0.12	28.22
医院 6	1 096	2	620	0.06	27.87
医院 7	1 183	21	880	0.08	30.85
医院 8	1 519	63	778	0.32	66.66
医院 9	1 907	28	1 220	0.28	67.57
医院 10	2 007	71	1 157	0.25	40.84

根据随机前沿分析结果可以看出，医院 3 的科研效率相对较高，说明该医院与自己理论上的最大产出有 4.32% 的距离。该医院近 5 年有 11 项国家自然科学基金重大课题、7 项广东省科技厅项目等。

在有 2 525 名相关人员（均数 1 371）、1 600 张编制病床（均数 914）的情况下，2019 年科研产出包括 SCIE 论文 135 篇、中文核心期刊 140 篇、SCIE 论文总被引 1 608 次、发明专利 16 项等。科研投入大、产出成果丰富，科研效率较高。深圳市 36 家三级医院平均科研效率是 41.08%，大于平均值的医院有 13 家（占比 36.1%）。科研效率大于 60% 的医院有 9 家（占比 25%）。说明有一半以上医院存在科研资源浪费或者科研效率很低，以及医院等级和科研效率不匹配问题。医院间科研效率差异严重，一方面财力投入和人力投入在各医院之间不平衡，另一方面个别医院在科研投入的利用方面效率很低。

4 结论

4.1 研究结论

本文运用随机前沿分析评价 2019 年深圳市 36 家三级医院的科研效率，较准确地分析影响科研效率的主要因素，为了解三级医院科研发展情况提供参考。与科研效率低的医院相比，科研效率高的医院往往具有更低的平均成本、更高的科研产出率和更高的利润率。在相同科研投入条件下，科研效率高的医院科研产出更多，成果转化更多。一方面财力投入和人员投入对医院科研产出都具有促进作用，并且人员投入对促进医院科研产出的效果要好于财力投入。如果只提高财力投入不增加人员投入，则会导致边际效率降低。医院管理者应更注重人员投入，如定期培训科研人员、举办学术讲座。另一方面医院科研效率总体水平较低，个别医院出现科研产出成果较少、科研效率较低等问题，说明深圳市三级医院科研效率有很大的进步空间。科研基金项目在重点医院存在聚集效应，可以通过多种途径帮助实现财力、人力资源共享，提高医院科研效率整体水平。

4.2 政策建议

4.2.1 加大医院科研人员投入，合理协调科研人员 医院应当为科研人员提供更多支持，吸引和培

养高层次人才,加大高层次人才奖励力度,促进医院科研产出。目前三级医院人员配置不够合理,导致科研投入浪费,未能充分发挥科研潜力。同时,医院应协调科研人员投入平衡,减少因人员配置不平衡造成的资源浪费,以求最大程度挖掘医院科研潜力,提高医院科研效率。

4.2.2 改善医院硬件条件,优化科研管理评价体系 医院硬件条件,如编制床位数与医院科研效率正相关。在一定范围内,增加医院编制床位数能提高医院科研效率。部分医院的科研管理评价体系不利于提高医院科研效率,反而产生干扰作用。三级医院评价指标体系权重需要动态管理,不断修正和优化。某些投入变量指标的权重较高,会造成冗余或不足。某些产出变量指标的权重较低,会造成相关方面科研成果产出不足。评价体系要起到导向作用,从重产出、轻效率,转变为涵盖科研产出、成果转化效率的多维度评价体系,更加符合三级医院科研发展的实际情况。科研管理不仅要有奖励,还要有惩罚。优化科研管理评价体系能创造良好的科研环境,激发医院科研人员的积极性,提高其创造性。

4.2.3 调控基金项目投入,全面提升医院科研效率 深圳市三级医院科研效率总体水平较低,本研究认为很大程度是因为医学科研产出周期长、前期投入大等行业特征。个别医院出现科研产出成果较少、科研效率较低等问题说明财力投入不协调,资源配置不平衡。因此要充分考虑各家医院的实际情况,调控基金项目投入,全面提高深圳市三级医院科研效率。建议各家医院结合实际情况,优先加强领军科室建设,增加国内外优势科室交流和合作,促使领军科室快速成长,以保证领军科室先得到充分发展并带动潜力科室。同时设立市级项目向科研效率低的医院倾斜,提高其科研产出,避免三级医院科研产生断层^[15]。

参考文献

- 1 中共中央,国务院. “健康中国 2030”规划纲要 [EB/OL]. [2021-10-25]. http://www.gov.cn/zhengce/2016-10/25/content_5124174.htm.
- 2 钟华,李海存,安新颖. 基于 PCA-SFA 的医院科研活

动效率评价 [J]. 医学信息学杂志, 2016, 37 (10): 57-61.

- 3 葛明华. 高质量整合医疗卫生服务体系 构建共同富裕健康管理新格局 [J]. 健康中国观察, 2022 (4): 30-31.
- 4 胥美美,单连慧,钟华,等. 基于数据包络分析的三级医院科研效率评价 [J]. 医学信息学杂志, 2017, 38 (5): 56-60, 73.
- 5 AIGNER D, LOVELL C, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models [J]. *Journal of econometrics*, 1977, 6 (1): 21-37.
- 6 MEEUSEN W, BROECK J V D. Efficiency estimates from Cobb-Douglas production functions with composed error [J]. *International economic review*, 1977, 18 (2): 435-444.
- 7 韩晶. 中国高技术产业创新效率研究——基于 SFA 方法的实证分析 [J]. *科学学研究*, 2010, 28 (3): 467-472.
- 8 葛仁良. 中国发明专利技术效率影响因素研究——基于随机前沿生产函数的分析 [J]. *科技管理研究*, 2010, 30 (4): 216-219.
- 9 HAMIDI S. Measuring efficiency of governmental hospitals in Palestine using stochastic frontier analysis [J]. *Cost effectiveness and resource allocation*, 2016, 14 (1): 3.
- 10 BLATNIK P, BOJNEC Š, TUŠAK M. Measuring efficiency of secondary healthcare providers in Slovenia [J]. *Open medicine*, 2017, 12 (1): 214-225.
- 11 PROSS C, STRUMANN C, GEISLER A, et al. Quality and resource efficiency in hospital service provision: a geospatial stochastic frontier analysis of stroke quality of care in Germany [J]. *Plos one*, 2018, 13 (9): e0203017.
- 12 REN W, FU X, TARIMO C S, et al. The scale and structure of government financial investment in traditional medicine based on optimal efficiency: evidence from public traditional Chinese medicine hospitals (PTHs) of Henan province, China [J]. *BMC health services research*, 2021, 21 (1): 182.
- 13 李靖华,郭耀煌. 主成分分析用于多指标评价的方法研究——主成分评价 [J]. *管理工程学报*, 2002, 16 (1): 39-43.
- 14 COLOMBI R, MARTINI G, VITTADINI G. Determinants of transient and persistent hospital efficiency: the case of Italy [J]. *Health economics*, 2017 (S2): 5-22.
- 15 于新颖,王晓蕊,陶庆梅,等. 基于层次分析法和数据包络分析法的医院青年科技人才科研绩效评价研究 [J]. *中华医学科研管理杂志*, 2021, 34 (6): 463-467.