

· 思路与方法学 ·

数据包络分析方法及其在医学研究建模中的应用

方 锐^{1,2} 苏锦河³ 胡镜清⁴ 葛金文² 许伟明⁴

摘要 数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)作为一个运筹学方法,是解决具有多个投入、多个产出的同种类型部门或单位(决策单元,DMUs)的相对有效性评价和决策问题的有力工具。本文介绍了 DEA 方法的基本原理、常用模型及经济学价值等相关理论知识,并综述了近年 DEA 在卫生经济学评价、疾病风险预警、临床疗效评价与治疗方案决策及中医证候量化辨证分型等医学研究建模中的应用,同时对不同的拓展 DEA 模型在中医证候诊断及其复杂干预效果评价等科学问题中的运用进行了探索性分析。

关键词 数据包络分析; 临床经济学; 风险评估; 疗效评价; 健康管理; 中医学

Data Envelopment Analysis and its Application in Medical Modeling Research FANG Rui^{1,2}, SU Jin-he³, HU Jing-qing⁴, GE Jin-wen², and Xu Wei-ming⁴ 1 School of Medicine, Hangzhou Normal University, Hangzhou (310018); 2 The Key Laboratory of Hunan Province for Integrated Chinese and Western Medicine on Prevention and Treatment of Cardio-Cerebral Diseases, Hunan University of Chinese Medicine, Changsha (410208); 3 School of Economics, Renmin University of China, Beijing (100872); 4 Institute of Basic Theory for Chinese Medicine, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing (100700)

ABSTRACT As a method of operational research, the data envelopment analysis (DEA) is a useful tool to deal with relative efficiency evaluation and decision-making of multiple inputs and outputs in the same type of departments or units. In this paper, we introduce the relevant theoretical knowledge about basic principle, common models, economic values of DEA, we also summarize the application of DEA to medical modeling research in health economics evaluation, precautionary of disease risk, clinical efficacy evaluation, treatments decision-making, syndrome quantification, differentiation and classification of Chinese medicine (CM) over recent years, and then some exploratory analyses are given on how to further use of different extended DEA models in scientific studies of CM syndrome diagnosis and therapeutic evaluation of complex intervention.

KEYWORDS data envelopment analysis; clinical economics; risk assessment; therapeutic evaluation; health management; Chinese medicine

随着人口老龄化、疾病模式转变及民众健康观念的更新,当前国家卫生经费投入不断上涨,医疗机构运

行效率的考量日益受到重视;同时在具体的疾病发生发展的进程中,预防、诊疗与康复方案的抉择也是医生日常工作必然需要面对的问题。在这些卫生经济学评价^[1,2]、疾病预防^[3]及医疗方案决策^[4,5]等医学研究中均存在着不同维度的、动态连续的多个“投入”和“产出”的经济与运筹管理(生产要素与“成效”等)综合效率评价。目前传统的临床经济学评价方法^[6]与疗效评价(有效性、安全性与经济性)尚不能直接实现类似的同质研究对象间多投入—产出效率比较的呈现,而运筹学、经济学的一个方法——数据包络分析(data envelopment analysis, DEA),正是可以对多项输入,多项输出的决策单元(decision making units, DMUs)进行综合效率评价的方

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(No. 2014CB542903); 湖南省重点研发计划项目(No. 2017SK2111); 浙江省中医药科技计划项目(No. 2018ZB095); 国家中医药管理局中医药行业科研专项(No. 201307003); 科技部国家“十二五”支撑计划项目(No. 2012BAI25B00)

作者单位: 1. 杭州师范大学医学院(杭州 310018); 2. 湖南中医药大学中西医结合防治心脑血管疾病湖南省重点实验室(长沙 410208); 3. 中国人民大学经济学院(北京 100872); 4. 中国中医科学院中医基础理论研究所(北京 100700)

通讯作者: 胡镜清, Tel: 010 - 64089008, E-mail: gcp306@126.com

DOI: 10.7661/j.cjtm.20180105.036

法^[1]。近年来 DEA 方法与模型在医学相关研究中的探索应用确也显示出了其潜在的优势,因此本文针对 DEA 的基本理论知识及近年 DEA 在卫生机构效率评价、疾病风险预警、临床疗效评价与治疗方案决策等科学议题建模中的应用做一梳理,并分析其拓展 DEA 模型在中医证候诊断及复杂干预效果评价等研究中运用的可行性。

1 DEA 相关理论概述

1978 年,曾被提名为诺贝尔经济学奖候选人的美国著名运筹学家 Charnes A 等^[7]人首次提出了 DEA 方法,用以评价多投入、多产出的 DMUs 间相对效率。1988 年魏权龄教授^[8]出版了国内关于 DEA 的首本专著,促进了国内 DEA 的研究与发展。目前 DEA 被定义为通过数学规划(包括线性规划、多目标规划、随机规划、具有锥结构的广义最优化等)建立模型,评价具有相同类型的部门或单位(DMUs)的多项输入和输出的相对有效性(DEA 有效)的综合评价与数据挖掘方法^[9,10],且 DEA 已逐渐成为经济管理科学、决策分析和技术评价等领域重要的分析工具和研究手段。

1.1 DEA 方法的基本原理 DEA 方法的基本思想是通过观察到的 n 个 DMUs 的 m 项输入和 s 项输出数据,由公理假设建立相应的生产可能集,判断 DMUs 是否位于输入、输出数据所构造的生产可能集的“生产前沿面”(理论生产函数所描述的生产可能性边界)上,以确定该 DMUs 是否 DEA 有效^[11](见图 1、2)。DEA 方法主要根据 DMUs 与生产前沿面的几何关系来判断 DMUs 的相对有效性,其数理原理直观

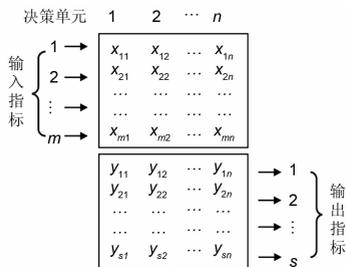


图 1 多个 DMUs 输入 - 输出关系示意图

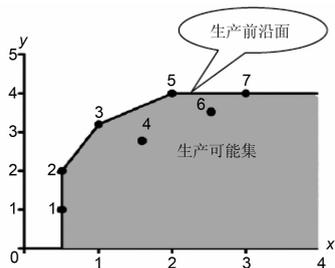


图 2 多个 DMUs 的生产可能集(BC²模型)

明了,较传统的效率评价方法提供了更多有价值的管理与决策信息。

在具体的应用过程中,它的基本原理又包含 3 部分内涵:一是 DEA 有效/无效的分析:在(弱)生产前沿面上的 DMUs,被评价为(弱)DEA 有效,反之则被评价为非(弱)DEA 有效。二是非 DEA 有效的投影分析:针对非 DEA 有效的 DMUs,DEA 方法可以求出其在生产前沿面上的“投影”值。不同 DEA 模型的 DMUs 在生产前沿面上的投影有所不同,在输入 DEA 模型中,首先强调的是输入的减少,而在输出 DEA 模型中,首先强调的是输出的增加。DMUs 在生产前沿面上的投影有两个重要的意义:(1)为非 DEA 有效 DMUs 生产活动的改进提供信息(比如在投入不变的情况下,产出可以增加的量);(2)通过对 DMUs 在生产前沿面上的投影进行规模收益分析(可以评估那些不处于生产前沿面上的 DMUs 的规模收益状态)^[9](见图 3、4)。三是动态效率分析:通过 Malmquist 指数模型可以对连续观测的不同时期生产率的变化进行纵向动态分析^[12]。Fare R 等^[13]应用距离函数将全要素生产率分解为技术变动(technological change, TC)和效率变动(technical efficiency change, TEC),TEC 可进一步分解为纯技术效率变动和规模效率变动;这其中 TC 为生产力进步带来的技术变革,而 TEC 为 DMUs 自身生产力革新带来的技术变动。

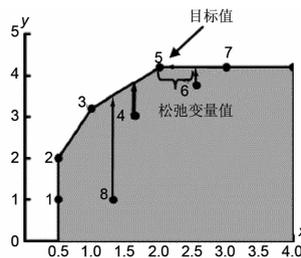


图 3 DEA (Input-BC²模型) DMUs 的投影

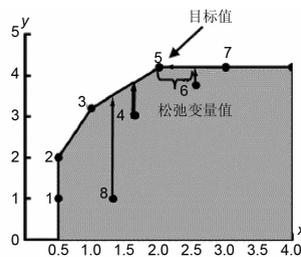


图 4 DEA (Output-BC²模型) DMUs 的投影

注:图 3 中如 8 点在生产前沿面的实际投影点为 1 点,在同样的投入下,2 点才为 8 点投影的目标值,1~2 点的距离即为松弛变量值,也即产出不足;图 4 中如 6 点的实际投影点在 5~7 点之间,而在同样的产出下,5 点才为 6 点投影的目标值,6 点实际投影点到 5 点之间的距离为松弛变量值,也即投入过剩

1.2 DEA 方法的经典模型 根据建立生产可能集的公理组合的不同,可以产生不同的 DEA 模型。主要经典模型分为 C²R 模型、BC²模型、FG 模型、ST 模型和 WY 模型。C²R 模型和 BC²模型常用来评测 DMUs 相对效率。C²R 模型是生产规模报酬不变模型,DMUs 的 DEA 有效性是同时针对规模有效性和技术有效性而言;BC²模型则是生产规模报酬变化模型,DMUs 的 DEA 有效性是针对纯技术有效性而言(如图 5 为两个投入导向型模型的原规划问题和对偶问题)。常用的 DEA 模型按研究目的或导向不同,又可以分为 3 类:(1)输入 DEA 模型:主要用于评价投入的相对有效性;强调在给定的产出时,投入是否已经最小;(2)输出 DEA 模型:主要用于评价产出的相对有效性;强调在给定的投入时,产出是否已经最大;(3)输出加法 DEA 模型:主要用于评价弱“拥挤”现象(“拥挤”现象是指当投入增大时,产出不但不会增大,反而会减少的生产现象)^[11]。

$$\begin{aligned}
 (P_{C^2R}^I) \begin{cases} \max \mu^T y_0 = h_{j_0} \\ \omega^T x_{j-} - \mu^T y_{j+} \geq 0, j = 1, \dots, n \\ \omega^T x_0 = 1 \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0 \end{cases} & \quad (P_{BC^2}^I) \begin{cases} \max (\mu^T y_0 - \mu_0) \\ \omega^T x_{j-} - \mu^T y_{j+} + \mu_0 \geq 0, j = 1, \dots, n \\ \omega^T x_0 = 1 \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0, \mu_0 \text{ 无限制} \end{cases} \\
 (P_{C^2R}^O) \begin{cases} \max \theta \\ \sum_{j=1}^n x_{j-} \lambda_j + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_{j+} \lambda_j - s^+ = y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n; \theta \text{ 无限制} \\ s^- \geq 0 \\ s^+ \geq 0 \end{cases} & \quad (D_{BC^2}^O) \begin{cases} \min \theta \\ \sum_{j=1}^n x_{j-} \lambda_j + s^- = \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_{j+} \lambda_j - s^+ = y_0 \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, \dots, n; \theta \text{ 无限制} \\ s^- \geq 0, s^+ \geq 0 \end{cases}
 \end{aligned}$$

图 5 DEA 的投入导向型 C²R 模型和投入导向型 BC²模型原问题及对偶问题

除了上述经典 DEA 模型之外,DEA 还拓展出了许多新的研究领域和研究模型,包括引进 4 个取值为 0 和 1 的参数,将经典的 DEA 模型 C²R、BC²、FG、ST 及 WY 统一为一个模型的综合 DEA 模型;可实现投入/产出指标的随机化与模糊化处理的随机 DEA 和模糊 DEA 模型;带有体现决策者对输入和输出指标之间重要性的“偏好锥”和体现对 DMUs 侧重的“偏袒锥”的锥比率模型 C²WH;确定最优化问题中的某些参数,使得某个可行解为该最优化问题的最优解的逆 DEA 模型;以及考虑从最初投入到最终产出的多阶段之间的联结关系(网络结构),使用各阶段数据进行分阶段评价的网络 DEA 模型等^[9,14,15]。

提供比较多的经济、管理及决策信息,这是 DEA 模型作为效益评价重要手段的主要原因。DEA 的经济学价值主要有:(1)技术有效:即对给定的产出而言,其投入已经最小,或对给定的投入而言,产出达到最大。(2)规模有效:即生产规模收益由递增转为递减的 DMUs,其投入—产出的关系基本可以分为 3 种,第 1 种是规模收益递增,指当投入成倍增加,产出以更大的倍数增长,即对生产函数 $f(X)$ 而言,有 $f(kX) > kf(X)$;第 2 种是规模收益不变,指产出与投入同倍数增加,即 $f(kX) = kf(X)$;第 3 种是规模收益递减,指当投入成倍增长,但产出增加的倍数较投入增加的倍数要小,即 $f(kX) < kf(X)$ ^[7](如图 6)。(3) DEA (NEW) 模型与“拥挤”现象:DEA (Output-New) 模型是为了研究生产规模拥挤现象的一种新 DEA 模型,其生产可能集需满足平凡公理、凸性公理、产出无效公理和最小性公理^[11]。

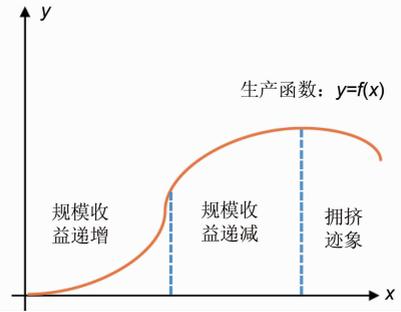


图 6 DEA 的“规模有效”和“拥挤”现象

值得注意的是,在运用 DEA 建模过程中,投入指标、产出指标及 DMUs 是较为关键的三要素。对于投入/产出指标的遴选,可以通过对原始指标进行因子分析或聚类分析,找出具有实际意义及代表性的指标作为 DEA 模型的投入/产出指标^[16]。另外具有同质性的 DMUs 须具有以下特征:(1)有相同的目标或任务;(2)有相同的外部环境;(3)有相同的投入、产出指标及其量纲。在横向研究中,一组具有同质性的实体可以作为一组 DMUs;而在纵向研究中,某一实体不同时间点的观察值也可作为一组 DMUs^[17]。在应用 DEA 方法进行综合评价时,首先需要深刻理解所需评价问题的本质,明确其评价的目标;建立输入/输出指标体系时,考虑因素间可能的定性或定量关系,选择模型需深入思考模型与分析目的之间的匹配程度;最后结果也可以结合或参考其他分析方法(比如回归分析、层次分析法、决策树分析、神经网络分析及随机前沿分析等)提供的信息进行综合评判。

综上所述,DEA 方法作为一种非参数前沿效率分析方法,将经济、管理和数学的原理与方法相结合,是处

1.3 DEA 方法的经济学价值 DEA 方法能够

理具有多个投入、产出的 DMUs 间的相对有效性排序、决策和评价问题的有力工具^[18]。它不仅可以实现 DEA 有效/无效的判别,同时可以通过在生产前沿面上的投影分析,发现非 DEA 有效的产生原因以及改进方向,调整资源投入量和效益产出量使其 DMUs 达到 DEA 有效。DEA 方法不仅能对技术与规模效率进行横向对比,也可以进行纵向、动态的分析。DEA 自身有着坚实的数理基础,又与线性规划、多目标规划、广义最优化模型、凸分析等理论在方法上相互借鉴和补充,在结论上相互印证和引申,形成了比较完备的理论体系。

2 DEA 方法与模型在医学研究建模中的应用

正是随着 DEA 理论、方法及模型的日臻成熟,DEA 无论作为一个运筹管理学模型、还是一种综合效率评价方法,其应用领域从最初的国民经济生产部门的相对有效性评价(资源配置效率的评价、技术进步的评价及企业绩效评价等^[19,20]),到近年逐渐被运用至卫生经济学评价、疾病风险预测、临床疗效评价与治疗方案决策以及中医方证对应下的证候量化辨证分型模型等研究中。

2.1 DEA 应用于公卫医疗机构综合效益与医事服务效率的评价

在目前已有的利用 DEA 建模的医学研究文献中,公卫医疗机构综合效益评价^[21-29]与其他医事服务(Medical-group practices, health extension programme, nursing units 和 Primary Care^[30-33])效率评价的研究占比最大。例如张桂林等^[21]利用 DEA 评价 2007—2009 年北京市 32 个乡镇卫生服务中心(DMUs)农村基本公卫服务项目开展情况,投入指标为公卫人员及年度经费,产出指标是预防接种、慢病管理等 6 个独立公因子(由 22 个原始指标经过因子分析降维处理后形成)。通过 C²R 和 BC²模型计算出技术效率值与规模效率值,进行 DEA 无效的 DMUs 投影分析以及动态效率分析,最终给出了投入的卫生资源利用过剩,需提升管理水平及产出不足的整改意见。Jat TR 等^[22]运用 DEA 评估印度 Madhya Pradesh 地区的医院孕产妇保健服务的技术效率,选取 40 家公立医院,以每个医院的医生、护士人数及病床数为投入指标,以接受产检的女性人数、分娩人数、住院人数及门诊人数等为产出指标,建立 Input-BC²模型进行效率值及松弛变量分析,结果发现 20 家医院为 DEA 无效(技术效率值 < 1) DMUs,政府管理部门需分析医院 DEA 无效的原因,并采取适当的措施增加其技术效率。这类应用案例通过运用 DEA 常用模型进行 DEA 有效/无效的判别,静态效率或动态效率分析,实现了 DEA 无效状况下的

投入过剩和(或)产出不足的原因分析。可以说 DEA 方法与模型实现了对现有卫生经济学与医院管理评价中的“技术”、“规模”效率评价体系的补充和完善。

2.2 DEA 应用于疾病风险预测模型的构建

国外有学者认为经典 DEA 模型对慢性疾病风险预测^[3,34]有一定参考价值。Narimatsu H 等^[3]应用 DEA 建立肥胖的风险预测模型,选取 Takahata 大型队列研究中的 1 620 例日本人(>40 岁)作为 DMUs,将运动量和饮食摄入量的倒数作为输入指标,体质量指数(BMI)的倒数作为输出指标;采用 C²R 模型计算出每个 DMUs 的技术效率值,然后将技术效率值、年龄、性别与肥胖的基因倾向分数(GPS)[通过全基因组关联分析(GWAS)中心的东亚肥胖人群的单核苷酸多态性(SNP)的 β 系数来计算^[35,36]]四项共同作为协变量,BMI 作为独立变量,通过多元线性回归分析构建 BMI 的基线方程及变化方程。虽然本案例的投入与产出指标间的内在联系值得进一步商榷,但是它试图通过 DEA 方法构建肥胖预警模型的探索依然是值得借鉴的一项创新性研究。

2.3 DEA 应用于临床疗效评价与方案决策

另外有研究将 C²R 和 BC²模型应用到了疾病临床疗效评价与治疗方案遴选的建模上,譬如杨土保^[37]将 2002 年 12 月—2003 年 12 月收集的 183 例 2 型糖尿病门诊患者分为迪北治疗组、二甲双胍治疗组和联合用药组,以治疗总费用(药物费用、检查费用及交通费用)为投入指标,将空腹血糖(FBG)、餐后 2 h 血糖(PBG2 h)、糖化血红蛋白(HbA1c)和质量调整寿命年(QALYs)作为产出指标;利用 DEA 与典型相关分析(CCA)相结合对各治疗方案组进行完全排序,结果显示二甲双胍组患者的治疗效果位列第一,其后依次为迪北治疗组与联合用药组。高凡珠^[38]将 342 例缺血性中风康复期住院患者根据中央随机系统随机分为西医内科治疗组 233 例和中医综合治疗组 109 例,中医综合治疗方案又根据中药汤药、中药注射剂、针灸推拿及现代康复治疗等措施按临床实际情况分了 3 个亚组;患者住院费用作为投入指标,将神经功能缺损评分(NIHSS)、肢体运动功能评分(FMA)、日常生活能力评定、残疾程度及中医症状积分作为产出指标,通过 C²R 和 BC²模型计算出技术效率值,再根据效率值的大小进行排序来拟定各个方案的优劣,同时松弛变量分析得出了部分产出指标(NIHSS 与 FMA)效果较好的结论(松弛变量值越小说明其实际投影点距离理想值越近)。

当前,源自运筹学、经济学的 DEA 模型应用于临床疗效评价研究时^[37-39],对于选取的投入指标大多

依然是与产出指标(疾病疗效评价指标)关系不甚紧密的经济学指标,比如住院费用、治疗药物费用等;而与疾病发生发展更为密切的、存在量化难度的因素,如患者个体的身体状况、合并疾病、生活方式、家庭与社会环境等众多因素并未予以考虑,因此其研究结论可能存在偏倚。

2.4 DEA 应用于中医证候量化辨证分型模型的建立 DEA 模型还对中医方证对应下的复合证候量化辨证分型建模有一定的参考意义。孟庆波等^[40,41]利用 DEA 构建中医证候量化辨证分型模型,其认为水谷代谢的根源是脏腑气化,回溯到《伤寒论》找到对应的方药和相关证候作为“候选证候集”及“解释空间”,再在《伤寒论》中找出“解释空间”的每个证候在演变过程中对应的治疗方药,以其君药在伤寒论的剂量作为投入指标,将治疗方药度量“解释空间”内对应证候的症征轻中重的主观评价赋值(从 4~20)作为产出指标,通过 C²R 模型计算出效率值作为“解释空间”的证候对应的症状量化值;再采用以“证候序列”为尺度的计算方法,完成对候选证型与诊断信息的度量,然后通过获取两者的相似度,按照加权平均规则,计算出诊断信息与候选证型的匹配测度,最后重新构建原来作为“候选证候集”的 5 个方药对应的复合辨证模型。该研究思路为中医辨证分型的数理建模和方法学的探索提供了一种新思路。

此外,拓展 DEA 模型中的网络 DEA 模型认为,常用经典模型均为未用到中间环节的输入数据和输出数据的“黑箱评价”;网络 DEA 模型是研究具有网络结构的多阶段投入与产出的 DMUs 效率的方法,可对各阶段存在联结关系的投入、产出信息进行效率评价^[9,42]。Kawaguchi H 等^[43]通过网络 DEA 模型对 112 家日本医院 2007—2009 年的工作效率进行评价,将每个 DMUs——医院又划分为管理部门和临床诊疗部门,这其中管理部门决定和提供诊疗部门的病床位数,诊疗部门为管理部门产生收益是第一层的联结关系;根据上一财年的产出与医院年末发行的债券的总和拟定下一财年的投入为第二层的联结关系。根据构建的两层联结关系,并利用各年度的投入、产出数据评价其技术效率,结果发现 2007—2009 年,医院临床诊疗部门技术效率稍有上升,管理部门技术效率下降,因此说明政府对公立医院政策的改革及财政的支持并未带来管理方面技术效益的显著提升。网络 DEA 模型的核心数理算法为第一阶段(或上游)的产出为第二阶段(或下游)的投入^[42]。其方法可明晰 DEA 无效的具体生产阶段及改进方向。

3 思考与展望

基于以上理论概述及应用分析,笔者发现 DEA 方法存在诸多优点:(1)相对于其他评价方法,DEA 方法在处理多输入、特别是多输出的问题方面具有绝对优势;(2)对输入/输出数据的分布无要求,不受计量单位的影响,也不需要数据的随机特征作出假设;(3)对 DMUs 的输入/输出信息的利用率较高;(4)DEA 方法不仅能给出评价的结果,还能确定 DMUs 效率低下的原因和通过改进可能达到的理想状态,为效率的调整提供决策依据;(5)应用 DEA 模型进行评价时,淡化具有个人主观意愿的指标权重赋值(只需假定由 DMUs 的投入/产出指标组成的状态可能集满足凸性、无效性、锥性以及最小性等条件即可^[44,45])。当然 DEA 也存在着对有效的 DMUs 所提供的信息较少、对输入/输出数据过于敏感以及评价结果是相对效率而非绝对效率等些许不足。但由于 DEA 方法具有能对可量化的“多因”、“多果”指标进行多维、连续的效率评价的优势,因此它的缺点较之优点,依然是瑕不掩瑜,关键在于如何扬长避短地将其方法、模型与相关医学研究问题相匹配。

正是因为 DEA 具有解决复杂的多“投入—产出”DMUs 相对效率的优势,其在病因学诊断、临床经济学评价与临床决策分析等医学研究建模中的应用开始备受关注。疾病(尤其是慢性非传染性疾病)的发生发展是多因多果的,在病因学诊断和临床经济学成本测算时需要考虑其“多因”,而在预后转归及确立效果或效用评价指标^[46]时需要考虑其“多果”。DEA 分析是纯技术性的,DMUs 的相对有效性评价结果与输入、输出指标的量纲选取无关;因此将解决“多因”、“多果”相对效率评价的 DEA 方法和模型,应用于发病危险因素的确立及预后转归多元状态下的疾病诊断问题中,从而可以建立疾病的风险预警模型或诊断模型。另外 DEA 对多投入、多产出指标的复杂系统的效率评价具有较好的适用性^[47],从卫生经济学及真实世界临床研究的角度,可以对临床治疗行为进行综合评估,客观而全面地遴选出较为适宜的医疗方案。DEA 还可以针对低效率的医疗方案找出其投入和产出不合理的原因,有利于临床医生更为客观地对医疗方案做出调整,使医疗的投入和产出达到较为理想的状态,让有限的卫生资源获得最优化的配置。

目前 DEA 在医学研究建模中的运用更多的只是关注了粗犷的经典 DEA 模型下的相对有效性的评价,但是 DEA 已然从经典模型发展到了综合 DEA 模型、随机 DEA 模型、逆 DEA 模型、具有锥比率的 DEA

模型以及网络 DEA 等拓展模型;相对于 DEA 理论和模型自身的不断完善,医学研究运用 DEA 建模的步伐明显滞后。中医学辨证论治和整体观念的核心思想强调证候的“主次性”、“时空性”及“渐变性”,而证候是进行方药—证型对应分析的关键基础单元,如何扬长避短地应用具有锥比率 DEA 模型建立中医证候主症、兼次症权重赋值下的证型诊断标准?如何将随机 DEA 模型运用到干预研究中,特别是中医复杂干预与疗效综合评价,亦或是具有中医特色的慢病管理效果评价中?以及如何将关注内部结构和外部关系,并能对连续观测的数据进行分阶段、分时段效率评价的网络 DEA 模型,应用到具有类似特征的“病证(症/征)结合、系统分段、多维指标”^[48]的中医临床诊疗评价中? 这些问题都是未来值得深入思考与探索的研究方向。

(致谢:感谢中国人民大学经济学院韩松副教授,中国医学科学院卫生政策与管理研究中心王小万教授,湖南中医药大学中西医结合学院邓奕辉教授先后对本文的专业指导)

参 考 文 献

- [1] Sherman HD. Hospital efficiency measurement and evaluation. Empirical test of a new technique [J]. *Med Care*, 1984, 22(10): 922–938.
- [2] 史健, 魏权龄. DEA 方法在卫生经济学中的应用[J]. 数学的实践与认识, 2004, 34(4): 59–65.
- [3] Narimatsu H, Nakata Y, Nakamura S, et al. Applying data envelopment analysis to preventive medicine: a novel method for constructing a personalized risk model of obesity [J]. *PloS One*, 2015, 10(5): e0126443.
- [4] 杨土保, 张继海, 孙振球. 数据包络分析在老年 2 型糖尿病经济学评价中的应用[J]. 中国老年学杂志, 2005, 25(8): 871–874.
- [5] 高凡珠, 谢雁鸣, 王永炎. 引入数据包络分析法用于中医临床疗效综合评价[J]. 中医杂志, 2010, 51(9): 790–792.
- [6] 詹思延, 谭红专, 孙业恒主编. 临床流行病学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 194.
- [7] Charnes A, Cooper WW, Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units[J]. *Euro J Oper Res*, 1978, 2(6): 429–444.
- [8] 魏权龄主编. 评价相对有效性的 DEA 方法[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 1988: 4–5.
- [9] 魏权龄主编. 评价相对有效性的数据包络分析模型—DEA 和网络 DEA[M]. 北京: 中国人民大学出版社, 2012: 2–6, 45, 333–335.
- [10] Yan H, Wei Q. Data envelopment analysis classification machine[J]. *Inform Sci*, 2011, 181(22), 5029–5041.
- [11] 孙振球, 王乐三主编. 综合评价方法及其医学应用[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2014: 117–119, 122–123, 126.
- [12] Krishnasamy G, Ridzwa AH, Perumal V. Malaysian post merger banks' productivity: application of Malmquist productivity index [J]. *Managerial Finance*, 2004, 30(4): 63–74.
- [13] Fare R, Grosskopf S, Lovell C A K. *Production frontiers* [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1994: 188–206.
- [14] Cooper WW, Deng H, Huang ZM, et al. Chance constrained programming approaches to congestion in stochastic data envelopment analysis [J]. *Eur J Oper Res*, 2004, 155(2): 487–501.
- [15] Hatami-Marbin A, Emrouznejad A, Tavana M. A taxonomy and review of the fuzzy data envelopment analysis literature: Two decades in the making [J]. *Eur J Oper Res*, 2011, 214(3): 457–472.
- [16] 智冬晓. 指标相关性对 DEA 评价效用的影响[J]. 统计教育, 2009, (6): 40–44.
- [17] 马占新, 马生昀, 包斯琴高娃主编. 数据包络分析及其应用案例[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 11.
- [18] Hollingsworth B. Non-parametric and parametric applications measuring efficiency in health care [J]. *Health Care Manag Sci*, 2003, 6(4): 203–218.
- [19] Cook WD, Seiford LM. Data envelopment analysis (DEA) – Thirty years on [J]. *Eur J Oper Res*, 2009, 192(1): 1–17.
- [20] 刘春燕, 郝艳华, 吴群红, 等. 数据包络分析在疾控机构绩效评价中的应用[J]. 中国公共卫生管理, 2010, 1(26): 33–35.
- [21] 张桂林, 潘习龙. 基于数据包络分析方法的北京市农村基本公共卫生服务项目效率评价[J]. 北京大学学报(医学版), 2013, 45(2): 264–268.
- [22] Jat TR, Sebastian MS. Technical efficiency of public district hospitals in Madhya Pradesh, India: a data envelopment analysis [J]. *Glob Health Action*, 2013, 6(60): 21742.
- [23] Sheikhzadeh Y, Roudsari AV, Vahidi RG, et al. Public and private hospital services reform using data envelopment analysis to measure technical, scale, allocative, and cost efficiencies [J]. *Health Promot Perspect*, 2012, 2(1): 28–41.
- [24] Jehu-Appiah C, Sekidde S, Adjuik M, et al. Ownership and technical efficiency of hospitals: evidence from Ghana using data envelopment analysis [J]. *Cost Eff Resour Alloc*, 2014, 12(1): 1–13.

- [25] 汤磊, 张薇, 袁蕙芸, 等. 基于数据包络分析的京沪两地三级甲等综合性医院运营效率比较研究[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2014, 34(1): 95-99.
- [26] 王小万, 刘丽杭, 匡绍华, 等. 大型综合公立医院效率特征及变动研究[J]. 中国卫生政策研究, 2015, 8(10): 33-40.
- [27] 陈聚祥, 曾培培, 陈亚运, 等. 基于 DEA 的全国中医类医疗卫生资源配置效率评价[J]. 中国卫生统计, 2016, 33(2): 271-273.
- [28] 张航, 赵临, 刘茜, 等. 中国卫生资源配置效率 DEA 和 SFA 组合分析[J]. 中国公共卫生, 2016, 32(9): 1195-1197.
- [29] Jia T, Yuan H. The application of DEA (Data Envelopment Analysis) window analysis in the assessment of influence on operational efficiencies after the establishment of branched hospitals[J]. BMC Health Serv Res, 2017, 17(1): 265.
- [30] Sebastian MS, Lemma H. Efficiency of the health extension programme in Tigray, Ethiopia: a data envelopment analysis[J]. BMC Int Health Hum Rights, 2010, 10(16): 1-8.
- [31] Gajewski BJ, Lee R, Dunton N. Data envelopment analysis in the presence of measurement error: Case study from the National Database of Nursing Quality Indicators (NDNQI)[J]. J Appl Stat, 2012, 39(12): 2639-2653.
- [32] Pelone F, Kringos DS, Romaniello A, et al. Primary care efficiency measurement using data envelopment analysis: a systematic review[J]. J Med Syst, 2015, 39(1): 156.
- [33] Adang EMM, Anne G, Elvira N, et al. Efficiency of the implementation of cardiovascular risk management in primary care practices: an observational study[J]. Implement Sci, 2015, 11(1): 67.
- [34] Zhou Y, Li L, Hu L. Correlation analysis of PM10 and the incidence of lung cancer in Nanchang, china[J]. Inter J Env Res Pub Heal, 2017, 14(10): 1253.
- [35] Qi Q, Chu AY, Kang JH, et al. Sugar-sweetened beverages and genetic risk of obesity[J]. N Engl J Med, 2012, 367(15): 1387-1396.
- [36] Speliotes EK, Willer CJ, Berndt SI, et al. Association analyses of 249 796 individuals reveal 18 new loci associated with body mass index[J]. Nat Genet, 2010, 42(11): 937-948.
- [37] 杨士保. 2 型糖尿病不同治疗方案的医疗后果综合评价研究[D]. 长沙: 中南大学, 2007: 18-32.
- [38] 高凡珠. 基于数据包络分析的缺血性中风早期康复中医综合方案疗效评价[D]. 北京: 中国中医科学院, 2010.
- [39] 刘秀珍, 陈进, 戴武, 等. 二甲双胍肠溶片 3 种联合用药方案治疗 2 型糖尿病的数据包络分析[J]. 中国医院药学杂志, 2014, 34(19): 1669-1672.
- [40] 孟庆波, 尹怡欣, 张德政, 等. 基于数据包络分析法的中医证候量化辨证分型研究[J]. 中国中药杂志, 2013, 38(10): 1631-1642.
- [41] 孟庆波, 尹怡欣, 杨国平, 等. 伤寒论“药效-证型”分析数据包络分析(DEA)量化建模“词计算”方法研究[J]. 中国药理学杂志, 2013, 48(13): 1131-1136.
- [42] 韩松, 魏权龄. 网络 DEA 模型的生产理论背景[J]. 经济理论与经济管理, 2012, 32(4): 40-44.
- [43] Kawaguchi H, Tone K, Tsutsui M. Estimation of the efficiency of Japanese hospitals using a dynamic and network data envelopment analysis model[J]. Health Care Manag Sci, 2014, 17(2): 101-112.
- [44] Charnes A, Cooper WW. Data envelopment analysis: theory, methodology and application[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1994: 3.
- [45] 李杰, 姜潮, 刘启贵, 等. 数据包络分析(DEA)在医院效率评价中的应用[J]. 中国医院统计, 2003, 10(1): 43-45.
- [46] 季聪华, 曹毅, 李秋爽, 等. 中医临床诊疗指南卫生经济学评价应用方法探讨[J]. 中华中医药杂志, 2016, 31(3): 910-913.
- [47] 王小万, 刘丽杭. 医院效率特征研究: 理论与模型[J]. 卫生经济研究, 2015, (8): 8-14.
- [48] 王贤良, 毛静远, 侯雅竹. 病证结合、系统分段、多维指标中医临床效应评价方法建立初探[J]. 中国中西医结合杂志, 2013, 33(2): 270-273.

(收稿: 2016-01-06 在线: 2018-05-18)

责任编辑: 白霞