

# Monte Carlo 随机模拟在合作医疗补偿方案设计中的应用

吴茵茵 叶真 何寒青 吴建军 童峰 陈坤

**【导读】** 通过对新型农村合作医疗制度(新农合)补偿方案进行设计与测评,明确 Monte Carlo 技术应用于人群仿真的可行性。在人群抽样调查基础上,以 Monte Carlo 随机模拟构建人群仿真系统,对新农合补偿方案的“保大病”和“保小病”策略进行模拟测评。在住院报销主导策略下,“保大病”方案的总补偿率为 0.3782,致贫人数减少率为 0.6540,资金结余率为 -0.0794;在门诊报销主导策略下,“保小病”方案的总补偿率为 0.4840,致贫人数减少率为 0.4091,资金结余率为 -0.3789。研究结果表明,新农合的补偿原则应以“保大病”为主,同时兼顾“保小病”。

**【关键词】** Monte Carlo; 新型农村合作医疗制度; 补偿方案; 人群仿真

**Application of Monte Carlo Techniques in designing compensatory scheme of new cooperative medical system** WU Yin-yin<sup>\*</sup>, YE Zhen, HE Han-qing, WU Jian-jun, TONG Feng, CHEN Kun. *Department of Epidemiology and Health Statistics, School of Medicine, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*

Corresponding author: CHEN Kun, Email: CK@zju.edu.cn

**【Introduction】** To design a workable compensatory scheme of new cooperative medical system (NCMS) in rural China, ‘Monte Carlo Simulation Techniques’ is developed based on the data of a multistage random sampling survey. The total compensation rate, the decreased percentages of poverty caused by diseases and the deficit ratio of fund a 0.3782, 0.6540 and -0.0794 respectively, when the main strategy of inpatient reimbursement is recognized as ‘serious illness’. The deficit ratios of funding appeared to be 0.4840, 0.4091 and -0.3789 when the main strategy of outpatient reimbursement is recognized on minor diseases. Compensation for minor diseases is more important than that of serious diseases. Considering the further impact of minor diseases on peasants, we should incorporate compensation for minor diseases into the compensatory scheme of NCMS.

**【Key words】** Monte Carlo; New cooperative medical system; Reimbursement; Population modeling

Monte Carlo 随机模拟是基于大数定律和中心极限定理等理论,并运用计算机软件产生服从一定分布的伪随机数来虚拟现实过程的技术。其核心是建立一个固定参数基础上的概率模型或随机过程,因此常被应用于构建流行病学数学模型,对传染病、寄生虫病及慢性非传染性疾病等进行疾病流行规律的研究。同时, Monte Carlo 技术还被广泛应用于预测与估计除疾病发生外的其他随机性事件。近年来,很多研究利用 Monte Carlo 技术对疾病控制方案的成本效益、城市化进程对疾病传播的影响等公共

卫生问题进行研究,充分说明了 Monte Carlo 随机模拟技术具有广泛的应用价值<sup>[1-3]</sup>。本研究以大样本人群调查为基础,利用 Monte Carlo 随机模拟技术构建人群仿真系统,对新型农村合作医疗制度(新农合)进行“保大病”和“保小病”策略的模拟分析,为设计新农合补偿方案提供人群测算依据的同时,明确 Monte Carlo 随机模拟技术用于大型人群仿真模拟的可行性和应用前景。

## 基本原理

Monte Carlo 技术的基本原理是建立一个固定参数基础上的概率模型或随机过程,通过对模型或过程的抽样试验来计算所求参数的统计特征及其近似值<sup>[4]</sup>。Monte Carlo 随机模拟的一般步骤如下:

1. 假设系统模型为:  $\hat{Y} = f(\hat{X}^{(1)}, \hat{X}^{(2)})$ , 式中  $\hat{Y}$  为已知

DOI: 10.3760/cma.j.issn.0254-6450.2009.03.023

基金项目:浙江省政府重大委托资助项目(2005C10005)

作者单位:310058 杭州,浙江大学医学院公共卫生学院流行病学与卫生统计学系(吴茵茵、何寒青、童峰、陈坤);浙江省卫生厅(叶真);浙江大学理学院(吴建军)

通信作者:陈坤, Email: CK@zju.edu.cn

函数,  $X^{(1)} = \{x_1^{(1)}, x_2^{(1)}, \dots, x_n^{(1)}\}$  为随机不可控部分,  $X^{(2)} = \{x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_m^{(2)}\}$  为确定可控部分, 且  $X^{(1)}$  有联合分布  $D_{x_1}(\theta)$ ,  $\theta$  为分布中的参数。系统输出  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_r\}$  是随机的, 且有相应的联合分布  $D_Y(\theta)$ , 其中  $\theta$  为分布中的参数。

2. 以收集得到的模拟对象的相关数据为依据, 确定  $X^{(1)}$  的分布类型和估计分布参数  $\theta = \theta_0$ , 从理论上确定了  $Y$  的分布类型和参数估计。根据分布参数  $\theta = \theta_0$ , 按  $X^{(1)}$  的分布  $D_{x_1}(\theta)$ , 利用计算机软件随机产生  $N$  个  $X^{(1)}$  的“样本”:  $X_1^{(1)}, X_2^{(1)}, \dots, X_N^{(1)}$ , 并取定人为可控的  $X^{(2)}$  数值。

3. 将通过以上步骤获得  $X^{(1)}$  和  $X^{(2)}$  代入系统模型  $Y = f(X^{(1)}, X^{(2)})$ , 可得到相应的  $N$  个  $Y$  “样本”:  $Y_1, Y_2, \dots, Y_N$ 。

4. 通过以上步骤即完成了以固定参数为基础的概率模型的构建, 通过对这  $N$  个  $Y$  的“样本”进行描述与分析, 实现研究目的。

### 实例分析

本文以浙江省农村公共卫生服务体系构建研究现场调查数据为例, 通过应用 Monte Carlo 随机模拟构建人群仿真系统, 对浙江省新农合的报销策略进行模拟测评。

1. 现场调查: 以浙江省农村居民为调查对象, 采用多阶段随机抽样的方法。第一阶段, 根据地理位置与经济发展水平等因素选择浙江省内有代表性的 5 个样本县, 分别是绍兴县、泰顺县、开化县、桐乡市和淳安县。绍兴县地处浙东; 泰顺县位于浙南, 温州西南部; 开化县位于浙西; 桐乡市位于浙北杭嘉湖平原腹地; 淳安县位于浙江省中西部。其中, 桐乡和绍兴市为浙江省的经济强县, 淳安、泰顺、开化县为浙江省的经济欠发达地区。第二阶段, 在每个样本县内按东西南北中各随机选择一个乡镇。第三阶段, 在每个样本乡镇内随机抽取 3 个村。第四阶段, 在每个样本村内随机选择 60 户家庭, 以每户农民家庭内的全部常住人口(一起居住与生活半年以上的家庭成员和非家庭成员, 如亲戚、保姆等)作为本次研究的调查对象。共调查农村家庭 4451 户, 农村居民 14 049 人。由经过统一培训的调查员, 采用自编的“家庭健康询问调查表”开展入户调查。在调查对象知情同意的情况下, 对其家庭成员的一般特征、家庭社会经济状况、农民的患病情况、农民患病就诊和治疗情况、农民患病住院情况及参加新农合的情况进行调查。采用 EpiData 3.0 软件建立数据库, 安排

专人双遍输入数据, 同时设定了逻辑校正程序, 有效控制数据质量。

#### 2. 参数设置与模拟测评:

(1)  $X^{(1)}$  的设置主要包括: ①每户人口数服从多项分布; ②每户人均年收入(元)服从条件对数正态分布; ③每户人均门诊费和住院费的发生与否服从二元联合 0~1 分布, 即在费用不发生时均恒取 0 值, 而在费用发生时均服从条件对数正态分布。其中分布的类型和参数由现场调查数据来确定, 辅以《2006 年浙江省统计年鉴》等资料修正偏差<sup>[5]</sup>。

(2)  $X^{(2)}$  的设置主要包括: ①模拟户数  $M = 10\ 000$ ; ②筹资水平 = 2% 的人均年收入; ③门诊报销封顶线为 30% 的人均年收入; ④住院报销封顶线为 8 倍的人均年收入; ⑤门诊、住院分段报销比例组合。

(3)  $Y$  主要包括: 总人数、未参保农民的人均门诊费、未参保农民的人均住院费、未参保农民的人均医药费、参保农民的人均收入、未参保农民家庭中的致贫户数、参保农民家庭中的致贫户数、致贫户减少率、门诊补偿率、住院补偿率、资金-总补偿率、资金结余率、分段报销户数、分段发生费、分段报消费等。

(4) 模拟次数  $N = 1000$ , 即由计算机软件随机生成  $N$  个  $X^{(1)}$ , 结合  $X^{(2)}$ , 按  $f$  计算得到  $N$  个  $Y$ , 并采用平均值和标准差等统计指标描述  $Y$  的分布特征。

(5) 通过调整  $X^{(2)}$  中部分变量的设置值, 考察  $Y$  的分布变化情况。本研究以不同的门诊与住院分段报销比例组合为基础, 设置了住院报销主导策略与门诊报销主导策略下的“保小病”、“保中小病”、“保中大病”和“保大病”报销方案。在住院报销主导策略下, 设定门诊分段报销最高比例为 0.5(乘以门诊分段报销相对比例即得门诊分段报销比例)并保持不变, 令住院分段报销最高比例(乘以住院分段报销相对比例即得住院分段报销比例)由 0.0 到 1.0 变化, 并以 0.1 为单位递增, 重复步骤(1)~(4); 在门诊报销主导策略下, 设定住院分段报销最高比例因子为 0.7 并保持不变, 令门诊分段报销最高比例由 0.0 到 1.0 变化, 并以 0.1 为单位递增, 重复步骤(1)~(4); 通过观察不同报销方案的门诊补偿率、住院补偿率、总补偿率和资金结余率等指标, 比较各报销方案的优劣, 完成对“保大病”和“保小病”策略的模拟测评。

3. 测评方法: 采用计算机编程的方式实现以上 Monte Carlo 随机模拟的全部步骤, 实现对新农合补偿方案的设计与测评。

#### 4. 模拟结果:

(1)住院与门诊报销主导策略下的补偿率、致贫人数减少率与资金结余率的变化:如表 1 所示,随着住院分段报销最高比例从 0.0 逐渐递增至 1.0,各报销方案下的住院补偿率、总补偿率与致贫人数减少率均呈线性增长,资金结余率呈线性减少。随着门诊分段报销最高比例从 0.0 逐渐递增至 1.0,各报销方案下的门诊补偿率、总补偿率、致贫人数减少率及资金结余率也呈相似变化。其中,门诊补偿率、住院补偿率和总补偿率最高的分别为门诊报销主导策略下的“保大病”方案(0.6676±0.0091)、住院报销主导策略下的“保中大病”方案(0.6264±0.0584)和门诊报销主导策略下的“保大病”方案(0.4840±0.0254)。致贫人数减少率最高的为住院报销主导策略下的“保中大病”方案(0.6835±0.0447)。另外,资金结余率最接近零的是住院报销主导策略下的“保大病”方案,模拟结果显示当住院分段报销最高比例达到 1.0 时,资金结余率由 0.0 时的 0.6945±0.0063 线性递减为-0.0794±0.0703。

(2)住院与门诊报销主导策略下的补偿效果:如表 2 所示,住院报销主导策略下的“保大病”方案的减贫贡献-资金代价比最高,为 0.7358,比同一报销策略下“保大病”方案的减贫贡献-资金代价比高 24.23%,比门诊报销主导策略下的“保大病”方案高

177.03%。

### 讨 论

卫生服务及医疗保障制度的不公平性作为影响人群健康水平的重要因素,受到越来越多的关注<sup>[6-8]</sup>。有研究指出,作为我国广大农村地区推行的一种主要医疗保障制度,新农合试点地区的农村居民卫生服务利用趋于公平,但在补偿方面“保大病”不足,仍存在不公平性<sup>[9,10]</sup>。另一方面,由于医药费用的飞速攀升、大病补偿不足,因病致贫、因病返贫也成为了制约农村居民健康的主要因素。目前,大部分关于新农合补偿制度“保大病”还是“保大病”的研究仅限于理论分析<sup>[11]</sup>,或仅依靠历史数据的回顾分析<sup>[12,13]</sup>,缺乏有力证据的支持。Monte Carlo 作为一种随机模拟技术,特别适合研究具有大量随机性复合指标的系统。本研究以 Monte Carlo 技术实现人群宏观系统的模拟与仿真,对新农合补偿方案的不同设计进行模拟测评。

本研究的模拟结果显示,随着住院或门诊分段报销最高比例的升高,各报销方案的总补偿率与致贫人数减少率均呈线性增长,说明增加住院或门诊的补偿比例确实能提高农民的受益程度。其中,总补偿率最高的为门诊报销主导策略下的“保大病”方案,证实了提高门诊补偿比例可以增加新农合的受

表 1 住院与门诊报销主导策略下的补偿率、致贫人数减少率与资金结余率的比较

项 目	“保大病”		“保中大病”		“保中大病”		“保大病”	
	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0
住院报销主导策略								
门诊补偿率	0.3377±0.0040	0.3377±0.0040	0.2614±0.0028	0.2614±0.0028	0.2584±0.0028	0.2584±0.0028	0.2175±0.0026	0.2175±0.0026
住院补偿率	0.0000±0.0000	0.4334±0.0381	0.0000±0.0000	0.6067±0.0561	0.0000±0.0000	0.6264±0.0584	0.0000±0.0000	0.5377±0.0494
总补偿率	0.1668±0.0110	0.3848±0.0180	0.1291±0.0085	0.4345±0.0217	0.1276±0.0085	0.4429±0.0225	0.1075±0.0071	0.3782±0.0202
致贫人数减少率	0.0884±0.0273	0.4573±0.0470	0.0915±0.0303	0.6555±0.0465	0.0921±0.0307	0.6835±0.0447	0.0846±0.0305	0.6540±0.0446
资金结余率	0.5258±0.0045	-0.0970±0.0428	0.6328±0.0062	-0.2392±0.0664	0.6371±0.0064	-0.2633±0.0692	0.6945±0.0063	-0.0794±0.0703
门诊报销主导策略								
门诊补偿率	0.0000±0.0000	0.6676±0.0091	0.0000±0.0000	0.4876±0.0063	0.0000±0.0000	0.4786±0.0063	0.0000±0.0000	0.3861±0.0049
住院补偿率	0.3065±0.0234	0.3065±0.0234	0.4403±0.0351	0.4403±0.0351	0.4548±0.0367	0.4548±0.0367	0.4060±0.0326	0.4060±0.0326
总补偿率	0.1544±0.0061	0.4840±0.0254	0.2219±0.0113	0.4621±0.0220	0.2292±0.0119	0.4650±0.0222	0.2047±0.0131	0.3947±0.0188
致贫人数减少率	0.2553±0.0447	0.4091±0.0479	0.3922±0.0488	0.5431±0.0475	0.4200±0.0490	0.5708±0.0471	0.3583±0.0494	0.5020±0.0470
资金结余率	0.5593±0.0310	-0.3789±0.0327	0.3667±0.0503	-0.3174±0.0524	0.3459±0.0522	-0.3256±0.0544	0.4153±0.0560	-0.1257±0.0583

表 2 住院与门诊报销主导策略下各报销方案的补偿效果比较

项 目	住院报销主导策略				门诊报销主导策略			
	“保大病”	“保中大病”	“保中大病”	“保大病”	“保大病”	“保中大病”	“保中大病”	“保大病”
门诊补偿率上的平均贡献	0.4334	0.6067	0.6264	0.5377	0.6676	0.4876	0.4786	0.3861
总补偿率上的平均贡献	0.2180	0.3054	0.3153	0.2707	0.3296	0.2402	0.2358	0.1900
致贫人数减少率上的平均贡献	0.3689	0.5640	0.5914	0.5694	0.1538	0.1509	0.1508	0.1437
资金结余率上的平均代价	0.6228	0.8720	0.9004	0.7739	0.9382	0.6841	0.6715	0.5410
减贫贡献-资金代价比	0.5923	0.6468	0.6568	0.7358	0.1639	0.2206	0.2246	0.2656

益面,提高其吸引力<sup>[14]</sup>。但其致贫人数减少率却是全部方案中最小的。这是由于门诊补偿分流了部分合作医疗基金,导致新农合抗大病风险的能力降低,难以有效缓解因病致贫的发生。模拟结果还显示,全部方案模拟终点的资金结余率均呈负数。其中,门诊报销主导策略下的“保小病”方案的资金结余率绝对值最大,说明补偿比例尤其是门诊部分的增加,会引发医疗服务的过度消费,增加合作医疗基金的透支风险。

住院报销主导策略下的“保大病”方案的减贫贡献-资金代价比最高,说明从农民总体受益与资金管理利用角度来看,大病补偿方案更有利于资金的统筹分配,提高抗大病风险的能力。另外,通过比较住院与门诊主导策略下各补偿方案的减贫贡献-资金代价比可以发现,门诊报销主导策略的性价比远低于住院报销主导策略。因此,在资金非常有限的情况下可以通过普遍降低门诊报销比率,并选择“保大病”或“保中大病”的补偿方案,来提高总补偿率与致贫人数减少率。

本研究结果表明,新农合补偿方案应以住院补偿为主,也应适当安排门诊补偿的比重,以达到既能扩大受益面,增加新农合吸引力,又能降低基金透支风险,保证新农合可持续发展的目的。此外,由于Monte Carlo随机模拟的原理与实现较为复杂,部分参数的设置还需进一步研究,其在人群仿真与制度设计方面的应用还有待后续研究进一步发展与完善。

参 考 文 献

[1] Anderson K, Jacobson JS, Heitjan DF, et al. Cost-effectiveness of preventive strategies for women with a BRCA1 or a BRCA2

mutation. *Ann Intern Med*, 2006, 144(6):397-406.

[2] Kaskel P, Tuschy S, Wagner A, et al. Economic evaluation of caspofungin vs. liposomal amphotericin B for empirical therapy of suspected systemic fungal infection in the German hospital setting. *Ann Hematol*, 2008, 87(4):311-319.

[3] Zhang P, Atkinson PM. Modelling the effect of urbanization on the transmission of an infectious disease. *Math Biosci*, 2008, 211(1):166-185.

[4] 朱本仁. 蒙特卡罗方法引论. 济南: 山东大学出版社, 1987.

[5] 浙江省统计局. 2006年浙江省统计年鉴. 北京: 中国统计局, 2005.

[6] Gwatkin DR. Health inequalities and the health of the poor: What do we know? What can we do? *Bull WHO*, 2000, 78(1):3-18.

[7] Farmer PE, Furin JJ, Katz JT. Global health equity. *Lancet*, 2004, 363(9423):1832.

[8] Liu M, Zhang Q, Lu M, et al. Rural and urban disparity in health services utilization in China. *Med Care*, 2007, 45(8):767-774.

[9] 叶冬青, 何义林, 马李, 等. 安徽省岳西县新型合作医疗对健康及卫生服务公平性影响的研究. *中华流行病学杂志*, 2006, 27(11):934-938.

[10] 常文虎, 彭迎春, 田慧, 等. 北京市新型农村合作医疗基本情况调查. *中华医院管理杂志*, 2007, 23(11):730-733.

[11] 侯天慧, 谭克俭. 新型农村合作医疗筹资与补偿机制的经济学分析. *经济问题*, 2006, 7:76-78.

[12] 胡善联. 新型农村合作医疗的研究方向. *卫生经济研究*, 2004, 6:9-11.

[13] 周寿棋, 宋伟君, 刘广德, 等. 吴县农村大病统筹合作医疗实施9年的调查. *中国农村卫生事业管理*, 2003, 23:13-16.

[14] 方黎明, 顾昕. 突破自愿性的困局: 新型农村合作医疗中参合的激励机制与可持续性发展. *中国农村观察*, 2006, 4:24-32.

(收稿日期:2008-07-18)

(本文编辑:张林东)

· 会 讯 ·

第一届北京热带医学与寄生虫学论坛的通知

为促进热带医学与寄生虫病防治、科研学术交流,北京热带医学研究所定于2009年5月22-24日在北京举办国家级继续医学教育项目——“第一届北京热带医学与寄生虫学论坛”,期满后授予国家级继续教育I类学分6分。

本届论坛将邀请国内知名专家围绕当前国内外热带医学与寄生虫学的科研新动态、诊疗新技术,就热点、难点问题开展学术研讨。这将充分展现我国该学科领域的最新研究成果和学术水平,力求推动我国热带医学及公共卫生事业的健康发展。欢迎参会人员积极投稿,论文将编入本届论坛论文集。

会议报名联系方式:地址:100050北京市宣武区永安路95号北京热带医学研究所;电话:010-63025849,传真:010-63139265;电子邮箱:reyansuo2008@sohu.com 联系人:谷俊朝。

首都医科大学附属北京友谊医院  
北京热带医学研究所