

合作博弈在医联体效用分配中的应用和发展^{*}

蔡 蕾¹, 单而芳²

(1. 上海市第一人民医院, 上海 200080; 2. 上海大学 管理学院, 上海 200444)

摘要: 医联体成员之间本质上是一种合作博弈关系, 合理的合作效用分配方案有利于医联体的可持续发展。因此, 基于合作博弈论中的 Shapley 值法, 计算每个成员的分配金额, 并对医联体合作效用进行合理性评价。分配结果既满足投入产出约束, 又满足激励水平约束, 能够保障该医联体成员合作的稳定性。上述结果为医联体管理费的审计评价提供依据, 为深化医疗体制改革、促进公立医院高质量发展提供参考。

关键词: 合作博弈; 医联体; 效用; 分配; 应用; 发展

中图分类号: O225; F224.32

文献标志码: A

文章编号: 1672-6693(2025)01-0036-08

医疗联合体(简称医联体)指不同层级、类别的医疗卫生机构通过纵向或者横向的资源整合而形成的医疗机构联合组织^[1]。近些年来, 审计组织在对医联体实施审计的过程中, 经常会发现医联体牵头单位(大型综合性医院)向其他医联体成员征收管理费的情况; 征收依据多为成员间签署的相关协议; 有的由牵头医院与被管理医院双方签署, 有的由上级卫生主管部门作为鉴证第三方, 与牵头医院及被托管医院共同签署。牵头医院向其他成员征收管理费的根本原因是医联体资金补偿机制建设尚不完善, 对外输出资源的单位必然存在一定损失, 因此前者需要向被托管方或资源输入方要求一定补偿。

梳理现有的医联体政策可发现, 关于管理费征收的政策依据不充分, 审计人员很难对管理费征收行为及金额的合理性发表意见。例如, 国家最新发布的《医疗联合体管理办法(试行)》中提出: “医联体牵头单位应当按照《医疗联合体综合绩效考核工作方案(试行)》和公立医院绩效考核有关要求, 加强对医联体综合绩效考核” “考核结果作为医院评审评价、医学中心和区域医疗中心设置等的依据”。但办法中既未明确绩效评价结果与补助资金投入之间的定量关系, 也未明确医联体牵头单位向其他成员征收管理费的依据是否与绩效考核结果有关。

本文尝试基于合作博弈论中的 Shapley 值法, 对医联体合作效用进行分配; 对分配结果的合理性, 通过约束函数进行评价。本文的目的是将合作效用的分配结果作为管理费协议中相关资金补助金额确定的基础, 从而为关于医联体管理费的审计评价提供依据。

1 医联体合作博弈模型

合作博弈论(cooperative game theory)^[2]指参与者团体(简称联盟)在“契约”中^[3]对彼此合作行为在约束条件下进行利益分配的竞争。它与非合作博弈(non-cooperative game)^[4]的主要区别在于强调“双赢”或“多赢”。合作博弈集合 (N, v) ^[5]中的任何子集 $S \subseteq N$ 被称为一个联盟(coalition)^[6], $v(S)$ 表示任一联盟可以获得的利益。同时满足有效性、群体理性及个体理性的解决方案被视为“公平合理”的, 它们组成的是一个解集, 被称为合作博弈的核心(core), 记为 $C(v) = \{x \in \mathbf{R}^n : \sum_{i \in N} x_i = v(N), \sum_{i \in S} x_i \geq v(S), \forall S \subseteq N\}$ ^[7], 其中 x_i 表示合作博弈对任一参与者 $i \in N$ 的利益分配, 向量 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示合作博弈的分配规则(allocation rule)^[8]。

随着合作博弈理论的发展, 许多分配规则已经能计算得出位于核中具有唯一值的解, 例如 Shapley 值^[9]、Myerson 值^[10]、位置值^[11]等。2001 年, Slikker 等人^[12]证明了定义在 (N, v) 上的 Shapley 值是满足有效性和平衡贡献性的唯一有效解。

* 收稿日期: 2024-06-13 修回日期: 2024-08-05 网络出版时间: 2025-03-10T11:12

资助项目: 上海市卫生健康委员会 2021 年度面上项目(No. 202150036)

第一作者简介: 蔡蕾, 女, 高级审计师、注册会计师, 管理学博士, 研究方向为公立医院会计审计管理, E-mail: polly611@126.com

网络出版地址: <https://link.cnki.net/urlid/50.1165.N.20250307.1202.002>

医联体成员之间既有合作也有竞争,本质上是一种合作博弈^[13],目的是在资源限制的条件下产生合作效用^[14-15]。本文将医联体合作效用简单定义为:医联体成员通过相互合作,扩大知名度,提升医联体的综合技术水平,从而获得整体医疗收入的增量。建立医联体合作博弈模型的主要目的,是基于合作博弈的分配规则,将医联体合作效用在成员中进行合理分配,设计出科学合理的合作效用分配方案,为牵头单位与其他成员签订管理费协议提供核算依据。

本文将任意一个由 n 个成员组成的医联体以二元组 (N, v) 表示。其中, N 表示全体成员的集合, $N = \{1, 2, \dots, n\} \subset \mathbf{N}$, $|N|$ 表示医联体中成员的数量;医联体中的可行联盟以 S 或 T 表示, $S, T \subseteq N$ 且 $S \cap T \neq \emptyset$;医联体中的任意成员以 $i \in N$ 表示;可行联盟 S 或 T 的合作效用以 $v(S)$ 、 $v(T)$ 分别表示;整个医联体的合作效用以 $v(N)$ 表示;医联体合作效用分配方案以 $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ 表示;对医联体第 i 个成员的分配以 x_i 表示。

对医联体合作效用的分配思路为:应用 Shapley 值^[9]计算出对每个医联体成员 $i \in N$ 的具体分配金额,确保对每位成员的分配同时满足 $x_i \geq v_i$ 和 $\mathbf{x}(S) \geq v(S)$ 。这样的分配结果,既符合医联体的群体理性,又符合各成员单位的个体理性,能够有效维护成员合作的稳定性。

2 医联体建立的必要性评价

2.1 获取医联体合作博弈特征函数的步骤

合作博弈的特征函数^[16]反映了合作博弈效用实现所遵循的基本规则。医联体合作博弈的特征函数可用 Cobb-Douglas 生产函数(Cobb-Douglas production function,简称 C-D 函数)法^[17]获取。该函数假定影响单个机构产出的主要因素为该机构技术、资本和人力资源投入的综合水平。某机构不参与某种合作的保留产出函数可表示为 $y_{i0} = e_{i0} \left(\frac{l_{i0}}{p_l}\right)^{\alpha} \left(\frac{k_{i0}}{p_k}\right)^{\beta}$;某机构参与某种合作的产出函数可表示为 $y_i = e_i \left(\frac{l_i}{p_l}\right)^{\alpha} \left(\frac{k_i}{p_k}\right)^{\beta}$ 。

考虑到机构的投入产出可被转化成货币形式,具备可转移效用(transferable utility)^[14],因此某机构不参与某种合作的保留效用函数可表示为 $u_{i0} = p_y e_{i0} \left(\frac{l_{i0}}{p_l}\right)^{\alpha} \left(\frac{k_{i0}}{p_k}\right)^{\beta} - (k_{i0} + l_{i0} + \delta_i e_{i0})$;参与某种合作的效用函数可以表示为 $u_i = p_y e_i \left(\frac{l_i}{p_l}\right)^{\alpha} \left(\frac{k_i}{p_k}\right)^{\beta} - (k_i + l_i + \delta_i e_i)$ 。

进一步考虑由 n 家机构组成的联盟情况。与单个机构类似,联盟的总产出函数可表示为:

$$Y = \sum_{i=1}^n \left((b_i e_i) \left(\frac{l_i}{p_l}\right)^{\alpha} \left(\frac{k_i}{p_k}\right)^{\beta} \right), \quad (1)$$

联盟的总效用函数可表示为:

$$U = p_y \left(\sum_{i=1}^n (b_i e_i) \left(\frac{l_i}{p_l}\right)^{\alpha} \left(\frac{k_i}{p_k}\right)^{\beta} \right) - \sum_{i=1}^n (k_i + l_i + \delta_i (e_i - e_{i0})^2). \quad (2)$$

上述各式中各参数在医联体中的具体含义如表 1 所示。其中参数 α, β 无法直接获得,需根据历史数据计算得到,步骤如下。

第 1 步,对医联体总产出函数式(1)的等号两边取对数,可得:

$$\ln Y = \ln E + \alpha \ln L + \beta \ln K = \ln E + \alpha \ln \left(\sum_{i=1}^n l_i \right) + \beta \ln \left(\sum_{i=1}^n k_i \right). \quad (3)$$

其中: $\ln E, \ln L$ 和 $\ln K$ 均为变量。

第 2 步,以 j 表示统计年份,式(3)中各变量可表示为:

$$\ln Y = \ln \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) = y_j, \ln E = \lambda, \ln L = \ln \left(\sum_{i=1}^n l_i \right) = x_{lj}, \ln K = \ln \left(\sum_{i=1}^n k_i \right) = x_{kj},$$

且 y_j 的回归公式可表示为:

$$y_j^* = \lambda + \alpha x_{lj} + \beta x_{kj}, \quad (4)$$

其中: λ 为常量。

第 3 步,求 y_j 与 y_j^* 的方差 $\theta = \sum_{i=1}^n (y_{ij} - y_{ij}^*)^2 = \sum_{i=1}^n (y_{ij} - \lambda - \alpha x_{lij} - \beta x_{kij})^2$ 。根据回归统计原理,当 θ 最小时, Y 值最符合实际情况。

表 1 医联体 C-D 函数中的参数说明

Tab. 1 Parameter explanation in the C-D function of medical consortium

参数	参数含义	医联体中的含义	数据来源	单位
p_Y	医联体综合技术能力产出的平均价格	医联体各成员均次住院费用的平均值	财务记录	万元·人次 ⁻¹
b_i	第 i 家医院的综合技术水平对医联体综合技术水平的影响因子	第 i 家医院参与医联体后对医联体总出院人次年均增长率的影响程度	医疗业务记录	
e_i	第 i 家医院参与医联体后的技术水平	第 i 家医院参与医联体后,与其他成员的年转诊水平(转入、转出的平均数)	医疗业务记录	人次
l_i	第 i 家医院的人力投入	医院年均人员经费	财务记录	万元
p_l	医联体平均医护人员成本	医联体各成员人员年收入水平的平均值	人力资源记录	万元·人 ⁻¹
k_i	第 i 家医院的资本投入	医院年均药品、耗材投入	财务记录	万元
p_k	医联体平均实物成本	医联体各成员设备、药耗单位成本的平均值	财务记录	万元·件 ⁻¹
δ_i	第 i 家医院提高综合技术水平的成本因子	第 i 家医院对单个转诊人次投入的成本费用	财务记录	万元·人次 ⁻¹
e_{i0}	第 i 家医院未参与医联体的技术水平	第 i 家医院未参与医联体时,与其他成员的转诊水平(转入、转出的平均数)	医疗业务记录	人次
α	劳动力对产出贡献的弹性系数	当人力资源投入增长 1% 时,联盟的产出将增长 $\alpha\%$	通过回归分析解得	
β	资本对产出贡献的弹性系数	当资本投入增长 1% 时,联盟的产出将增长 $\beta\%$	通过回归分析解得	

第 4 步,将 $\sum_{i=1}^n y_i, \sum_{i=1}^n x_{li}, \sum_{i=1}^n x_{ki}$ 分别简写为 $\sum y, \sum x_l, \sum x_k$, 根据回归公式(式(4))得如下表达式:

$$\begin{cases} \sum y_j = \lambda n + \alpha \sum x_{lj} + \beta \sum x_{kj}, \\ \sum x_{lj} y_j = \lambda \sum x_{lj} + \alpha \sum (x_{lj})^2 + \beta \sum x_{lj} x_{kj}, \\ \sum x_{kj} y_j = \lambda \sum x_{kj} + \alpha \sum x_{lj} x_{kj} + \beta (\sum x_{kj})^2. \end{cases} \tag{5}$$

第 5 步,又由回归公式(式(4))知 $\lambda = \bar{y} - \alpha \bar{x}_l - \beta \bar{x}_k$,代入式(5)可得:

$$\begin{cases} \sum x_{lj} y_j = (\bar{y} - \alpha \bar{x}_l - \beta \bar{x}_k) \sum x_{lj} + \alpha \sum (x_{lj})^2 + \beta \sum x_{lj} x_{kj}, \\ \sum x_{kj} y_j = (\bar{y} - \alpha \bar{x}_l - \beta \bar{x}_k) \sum x_{kj} + \alpha \sum x_{lj} x_{kj} + \beta (\sum x_{kj})^2. \end{cases} \tag{6}$$

第 6 步,用 m 表示医联体组建以来的年份数,则:

$$\bar{y} = \frac{1}{m} \sum y_j, \bar{x}_l = \frac{1}{m} \sum x_{lj}, \bar{x}_k = \frac{1}{m} \sum x_{kj},$$

将医联体 m 年的历史数据分别代入式(6),可得:

$$\begin{cases} \sum x_{lj} y_j - m \bar{x}_l \bar{y} = \alpha (\sum (x_{lj})^2 - m (\bar{x}_l)^2) + \beta (\sum x_{lj} x_{kj} - m \bar{x}_l \bar{x}_k), \\ \sum x_{kj} y_j - m \bar{x}_k \bar{y} = \alpha (\sum x_{lj} x_{kj} - m \bar{x}_l \bar{x}_k) + \beta (\sum (x_{kj})^2 - m (\bar{x}_k)^2). \end{cases} \tag{7}$$

通过回归分析,就可以估计出 α, β 的取值^[18]。

2.2 某紧密型医联体特征函数的获取

设某紧密型医联体由 1 家三级医院、2 家社区医院组成,其中牵头单位为三级医院。该医联体已经实行人、财、物统一管理和分级诊疗,所有成员间均实现了双向转诊,结构见图 1。图中 a, b, c 分别表示各成员之间的转诊关系。

该医联体的任意成员均可选择单独运营或与其他成员合作。根据合作成员的数量,可以组成 6 种可行联盟

方案:医院 1,2,3 分别单独运营、医院 1,2 合作、医院 1,3 合作、医院 2,3 合作、医院 1,2,3 共同合作。用 $v(i, \cdots, j | i, j \in N)$ 表示各可行联盟的合作效用,如 $v(1)$ 表示医院 1 单独运营所能获得的效用, $v(1,2)$ 表示医院 1,2 合作所能获得的效用, $v(1,2,3)$ 表示医院 1,2,3 共同合作所能获得的效用,等。

该医联体 2019—2022 年有关数据如表 2 所示。用 Y 表示医联体各成员转诊收入合计,用 L 表示各成员人力成本投入合计,用 K 表示各成员物资设备等投入合计,则 $L_{i,j} = L_i + L_j, K_{i,j} = K_i + K_j$ 。令 $\ln Y = y_j, \ln L = x_{lj}, \ln K = x_{kj}$,对该医联体相关历史数据进行整理后可得表 3。

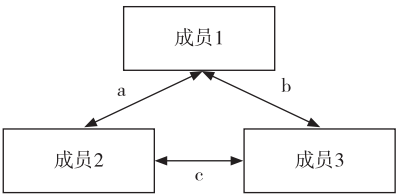


图 1 某医联体结构

Fig. 1 A certain medical consortium structure

表 2 某医联体 2019—2022 年度业务数据

Tab. 2 Business data of a certain medical consortium for the years from 2019 to 2022

年份	项目内容	医院 1	医院 2	医院 3	合计
2019	转诊患者平均数/人次	2 186	988	563	3 737
	均次费用/万元	2.02	1.65	0.86	
	转诊收入/万元	4 415.72	1 630.2	484.18	6 530.1
	人员经费投入/亿元	5.63	2.73	0.46	8.82
	设备、药耗投入/亿元	7.68	1.94	0.68	10.3
2020	转诊患者平均数/人次	3 671	1 022	603	5 296
	均次费用/万元	2.15	1.87	0.85	
	转诊收入/万元	7 892.65	1 911.14	512.55	10 316.34
	人员经费投入/亿元	5.79	2.86	0.52	9.17
	设备、药耗投入/亿元	7.95	2.00	0.68	10.63
2021	转诊患者平均数/人次	3 924	1 688	728	6 340
	均次费用/万元	2.19	1.65	0.83	
	转诊收入/万元	8 593.56	2 785.2	604.24	11 983
	人员经费投入/亿元	5.95	2.96	0.65	9.56
	设备、药耗投入/亿元	7.98	2.35	0.98	11.31
2022	转诊患者平均数/人次	4 325	2 653	834	7 812
	均次费用/万元	2.18	1.74	0.82	
	转诊收入/万元	9 428.5	4 616.22	683.88	14 728.6
	人员经费投入/亿元	6.03	2.99	0.73	9.75
	设备、药耗投入/亿元	8.54	2.60	1.38	20.92

表 3 某医联体 C-D 函数相关参数值

Tab. 3 The parameters' value of C-D function related for a certain medical consortium

年份	y_j	x_{lj}	x_{kj}	$\overline{y}$	$\overline{x_l}$	$\overline{x_k}$
2019	8.78	2.18	2.33	9.25	2.23	2.54
2020	9.24	2.22	2.36	9.25	2.23	2.54
2021	9.39	2.26	2.43	9.25	2.23	2.54
2022	9.60	2.28	3.04	9.25	2.23	2.54

将 $m=4$ 及表 3 中的参数值代入式(7),可得:

$$\begin{cases} 0.15=0.04\alpha+0.06\beta, \\ 0.31=0.06\alpha+0.35\beta. \end{cases}$$

经回归分析后可解得 $\alpha=0.02, \beta=0.88$ 。由此可得各可行联盟合作博弈特征函数如下:

$$\begin{aligned} v(1) &= p_Y e_{10} \left(\frac{l_1}{p_l} \right)^{0.02} \left(\frac{k_1}{p_k} \right)^{0.88} - (l_1 + k_1), v(2) = p_Y e_{20} \left(\frac{l_2}{p_l} \right)^{0.02} \left(\frac{k_2}{p_k} \right)^{0.88} - (l_2 + k_2), \\ v(3) &= p_Y e_{30} \left(\frac{l_3}{p_l} \right)^{0.02} \left(\frac{k_3}{p_k} \right)^{0.88} - (l_3 + k_3), \\ v(1,2) &= P_Y (b_1 e_1 + b_2 e_2) \left(\frac{l_1 + l_2}{p_l} \right)^{0.02} \left(\frac{k_1 + k_2}{p_k} \right)^{0.88} - (L_{1,2} + K_{1,2}) - (\delta_1 (e_1 - e_{10})^2 + \delta_2 (e_2 - e_{20})^2), \\ v(1,3) &= P_Y (b_1 e_1 + b_3 e_3) \left(\frac{l_1 + l_3}{p_l} \right)^{0.02} \left(\frac{k_1 + k_3}{p_k} \right)^{0.88} - (L_{1,3} + K_{1,3}) - (\delta_1 (e_1 - e_{10})^2 + \delta_3 (e_3 - e_{30})^2), \\ v(2,3) &= P_Y (b_2 e_2 + b_3 e_3) \left(\frac{l_2 + l_3}{p_l} \right)^{0.02} \left(\frac{k_2 + k_3}{p_k} \right)^{0.88} - (L_{2,3} + K_{2,3}) - (\delta_2 (e_2 - e_{20})^2 + \delta_3 (e_3 - e_{30})^2), \\ v(1,2,3) &= P_Y (b_1 e_1 + b_2 e_2 + b_3 e_3) \left(\sum_{i=1}^3 \frac{l_i}{p_l} \right)^{0.02} \left(\sum_{i=1}^3 \frac{k_i}{p_k} \right)^{0.88} - \\ &\quad (L_{1,2,3} + K_{1,2,3}) - (\delta_1 (e_1 - e_{10})^2 + \delta_2 (e_2 - e_{20})^2 + \delta_3 (e_3 - e_{30})^2). \end{aligned}$$

该医联体 2023 年相关财务及业务数据如表 4 所示,其中各参数中的下标 1,2,3 分别表示医院 1、医院 2 和医院 3 的相应数据。

表 4 医联体 2023 年相关财务及业务数据

Tab. 4 Financial and business data related to medical consortium in 2023

参数	数值	参数	数值	参数	数值	参数	数值
p_Y /万元	1.57	E_{30} /万元	200	δ_3 /万元	0.8	k_3 /万元	14 100
e_{10} /人次	3 000	e_1 /人次	3 527	l_1 /万元	58 500	p_l /万元	30
e_{20} /人次	1 500	e_2 /人次	1 588	l_2 /万元	28 900	p_k /万元	100
e_{30} /人次	500	e_3 /人次	682	l_3 /万元	5 900	b_1	50%
E_{10} /万元	800	δ_1 /万元	2	k_1 /万元	87 000	b_2	30%
E_{20} /万元	300	δ_2 /万元	1	k_2 /万元	26 500	b_3	20%

将上表中的参数值代入上述可行联盟的合作博弈特征函数,即可得出各可行联盟合作效用如下:

$$\begin{aligned} v(1) &= 1.57 \times 3\,000 \times 1\,950^{0.02} \times 870^{0.88} - (58\,500 + 87\,000 + 2 \times 800^2) = 690\,904, \\ v(2) &= 1.57 \times 1\,500 \times 963^{0.02} \times 265^{0.88} - (28\,900 + 26\,500 + 1 \times 300^2) = 61\,139, \\ v(3) &= 1.57 \times 500 \times 197^{0.02} \times 141^{0.88} - (5\,900 + 14\,100 + 0.8 \times 200^2) = 15\,932, \\ v(1,2) &= 1.57 \times (0.5 \times 3\,527 + 0.3 \times 1\,588) \times (1\,950 + 963)^{0.02} \times (870 + 265)^{0.88} - \\ &\quad (58\,500 + 87\,000 + 28\,900 + 26\,500) - [2 \times (3\,527 - 3\,000)^2 + 1 \times (1\,588 - 1\,000)^2] = 910\,748, \\ v(1,3) &= 1.57 \times (0.5 \times 3\,527 + 0.2 \times 682) \times (1\,950 + 197)^{0.02} \times (870 + 141)^{0.88} - \\ &\quad (58\,500 + 87\,000 + 5\,900 + 14\,100) - [2 \times (3\,527 - 3\,000)^2 + 0.8 \times (682 - 500)^2] = 785\,211, \\ v(2,3) &= 1.57 \times (0.3 \times 1\,588 + 0.2 \times 682) \times (963 + 197)^{0.02} \times (265 + 141)^{0.88} - \\ &\quad (28\,900 + 26\,500 + 5\,900 + 14\,100) - [1 \times (1\,588 - 1\,500)^2 + 0.8 \times (682 - 500)^2] = 109\,138, \\ v(1,2,3) &= 1.57 \times (0.5 \times 3\,527 + 0.3 \times 1\,588 + 0.2 \times 682) \times (1\,950 + 963 + 197)^{0.02} \times (870 + 265 + 141)^{0.88} - \\ &\quad (58\,500 + 87\,000 + 28\,900 + 26\,500 + 5\,900 + 14\,100) - \\ &\quad [2 \times (3\,527 - 3\,000)^2 + 1 \times (1\,588 - 1\,500)^2 + 0.8 \times (682 - 500)^2] = 1\,559\,706. \end{aligned}$$

可见,该医联体合作效用的特征函数是一个凸函数,加入的成员数量越多,合作效用就越大,因此医联体的组建是值得的。

3 医联体合作效用分配及评价

Shapley 值是合作博弈论中最著名、最重要的一个分配规则,是完全连通的合作博弈中常用的利益分配方法,由美国洛杉矶加州大学教授 Lloyd Shapley 于 1953 年提出。它默认任何联盟中的参与者都可以互相合作,参与者 i 可获得的分配等于他对参与的每一个联盟的边际贡献的加权平均值。一个合作博弈 (N, v) 的 Shapley 值记为 $\mathbf{S}(N, v)$ 或者 $\mathbf{S}(v)$ 。它不是一个数值,而是一个分配向量, $\mathbf{S}(v) = (S_1(v), S_2(v), \dots, S_n(v))$ 。其中 $S_i(v)$ 表示参与者 $i \in N$ 所能获得的分配,值为 $S_i(v) = \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} \frac{|S|! (|N| - |S| - 1)!}{|N|!} [v(S \cup i) - v(S)]$, 或

$$S_i(v) = \sum_{S \subseteq N, i \in S} \frac{(S-1)! (n-S)!}{n!} [v(S) - v(S \setminus \{i\})]。 \quad (8)$$

其中: S 表示任何一种合作博弈中可行联盟的组合方式, $v(S)$ 表示可行联盟 S 的合作利益, $v(S \setminus \{i\})$ 表示参与者 i 不参与 S 时,可行联盟中其他成员的合作利益, $S_i(v)$ 表示第 i 名参与者应该分配到的值。

本文尝试使用 Shapley 值法对该医联体的合作效用进行分配。由于上例中医联体所有成员均可相互转诊,且是一个凸博弈,用 Shapley 值进行效用分配的结果必定位于合作博弈的核心 $C(v)$ 中^[9]。

用 $S_i(v)$ 表示该医联体中第 i 家医院 2023 年度能够分配到的 Shapley 值。把表 4 中各医联体成员 2023 年度的平均转诊人数分别代入 Shapley 值公式(式(8))可得:

$$\begin{aligned} S_1(v) &= \frac{0! \times (3-0-1)!}{3!} [v(1) - v(\varphi)] + \frac{1! \times (3-1-1)!}{3!} \{[v(12) - v(2)] + [v(13) - v(3)]\} + \\ &\quad \frac{2! \times (3-2-1)!}{3!} [v(123) - v(23)] = 983\ 639, \\ S_2(v) &= \frac{0! \times (3-0-1)!}{3!} [v(2) - v(\varphi)] + \frac{1! \times (3-1-1)!}{3!} \{[v(12) - v(1)] + [v(23) - v(3)]\} + \\ &\quad \frac{2! \times (3-2-1)!}{3!} [v(123) - v(13)] = 330\ 720, \\ S_3(v) &= \frac{0! \times (3-0-1)!}{3!} [v(3) - v(\varphi)] + \frac{1! \times (3-1-1)!}{3!} \{[v(13) - v(1)] + [v(23) - v(2)]\} + \\ &\quad \frac{2! \times (3-2-1)!}{3!} [v(123) - v(12)] = 245\ 348。 \end{aligned}$$

接下来进行合理性评价。分配方案能否保证各成员获得的资金补助至少不小于技术成本投入的增加,即投入产出约束;且不小于不参加医联体所获得的保留利益,即激励水平约束。用约束函数表示为:

$$\text{s. t. } \begin{cases} p_y(y(e_1) - y(e_0)) \geq c(e_1) - c(e_0), \\ S_i(v)_{E_1} - S_i(v)_{E_0} \geq 0. \end{cases}$$

将 Shapley 值法计算结果代入以上约束函数可得:

$$\begin{aligned} p_y[y(3\ 527) - y(3\ 000)] &> c(3\ 527) - c(3\ 000), \\ p_y[y(1\ 588) - y(1\ 500)] &> c(1\ 588) - c(1\ 500), p_y[y(682) - y(500)] > c(682) - c(500)。 \end{aligned}$$

且 $\mathbf{S}(1) > v(1), \mathbf{S}(2) > v(2), \mathbf{S}(3) > v(3)$ 。

分配结果同时满足投入产出约束以及激励水平约束,能够保障该医联体成员合作的稳定性。因此,可作为医联体牵头单位向其他成员收取管理费的依据。

4 相关建议及研究展望

4.1 相关建议

医联体合作效用分配方案是一种关系契约^[19],必须借助于订约方以外的其他组织或机构来约束成员间彼此的权责关系、规范合作行为。

建议各地政府组建一个具有权威性的管理机构具体负责医联体合作效用的分配^[20]。第 1 种是成立由区域卫生行政主管部门直接管辖的事业单位,通过转移支付的方式将医联体补助资金落实到位。第 2 种是由区域卫生行政主管部门直接管辖的非独立部门负责分配,同时由医保部门根据分配方案对各成员进行转移支付。第 3

种是牵头医院设计医联体合作效用的分配方案,由政府相关部门根据分配方案对各成员实施转移支付,或由牵头医院向其他成员收取一定管理费。涉及管理费征收的相关协议需报卫生行政主管部门备案,防止国有资产流失风险。

4.2 研究展望

对于医联体效用,目前国内外学者一般从系统性、动态化的评估角度出发,采用倍差法、倾向性评分法等进行定量分析。一些学者还尝试用合作博弈理论来制定一些方案、规则,帮助医疗机构提高效率、优化质量。譬如,Shima 等人^[21]针对医疗转诊系统中合作与冲突目标共存的情况,制定了基于医师与协作医院合作博弈的激励方案,以获得最优转诊模式。但医联体理论研究与合作博弈论的结合目前尚不完善,主要表现在以下几方面:一是有关理论框架、动力基础的结合没有找到契合点;二是研究内容多定性分析,少定量评价;三是多短期效果分析,少长期效果预测;四是在效用评估中大多使用静态指标,且较多依靠专家经验确定评价标准,缺乏动态和持续跟踪指标评价。

随着合作博弈理论的发展,新合作博弈分配规则不断被发现,相关的性质及特征不断被证明。理论研究方面取得的新成果会推动医联体管理实践发展,医联体合作效用的分配机制研究也会获取更多助力。例如,在医联体成员间未能全部实现相互合作时,可以通过图结构分配规则进行分配方案的设计,有效刺激双向转诊及分级诊疗制度的实施,维护医联体可持续发展^[22]。又如,医联体各成员间建立相互合作关系具有不确定性,因此在今后的研究中可以尝试建立具有概率图合作结构的医联体合作博弈模型,运用到分配方案的预测中^[22]。

除了分配机制研究,医联体合作效用的优化问题也是今后研究的重点。如 2021 年,蔡蕾^[23]通过对现实中常用的基于整数规划、排队论及合作博弈论等数学算法的医联体效用优化模型进行分析和比较,指出了它们在应用目的、应用环境和条件上的差异性,分析了它们各自的优缺点,为医联体效用研究模型的建立和求解方法提供了科学依据。

综上所述,涉及医联体资金补助机制及管理费的研究任重而道远,本文模型的设计仅停留在理论假设阶段,还有待应用于实际问题中。因此,相关方案操作细则需跟上理论发展步伐,与时俱进,不断改善。

参考文献:

- [1] 任飞. 完善区域纵向医联体建设的思考:基于制度理性选择框架[J]. 中国卫生政策研究, 2016, 9(10): 1-5.
REN F. Thoughts on improving the regional longitudinal health consortium: a framework analysis of institutional rational choice [J]. Chinese Journal of Health Policy, 2016, 9(10): 1-5.
- [2] 董保民, 王运通, 郭桂霞. 合作博弈论: 解与成本分摊[M]. 北京: 中国市场出版社, 2008.
DONG B M, WANG Y T, GUO G X. Cooperative game theory: solutions and cost sharing[M]. Beijing: China Market Press, 2008.
- [3] OWEN G. Game theory[M]. 3rd. San Diego: Academic Press, 1995.
- [4] NASH J. Non-cooperative games[J]. Annals of Mathematics, 1951, 54(2): 286-295.
- [5] VAN DEN BRINK R, VAN DER LAAN G, MOES N. Fair agreements for sharing international rivers with multiple springs and externalities[J]. Journal of Environmental Economics and Management, 2012, 63(3): 388-403.
- [6] BILBAO J M. Cooperative games on combinatorial structures[M]. New York: Springer, 2000.
- [7] SHAPLEY L S. Cores of convex games[J]. International Journal of Game Theory, 1971, 1: 11-26.
- [8] AUMANN R, DREZE J. Cooperative games with coalition structures[J]. International Journal of Game Theory, 1974, 3: 217-237.
- [9] SHAPLEY L S. A value for n -person games[M]//KUHN H W, TUCKER A W. Contributions to the theory of games II. Princeton: Princeton University Press, 1953, 2: 307-317.
- [10] MYERSON R B. Game theory: analysis of conflict[M]. Cambridge: Harvard University Press, 1991.
- [11] BORM P, OWEN G, TIJS S. On the position value for communication situations[J]. SIAM Journal on Discrete Mathematics, 1992, 5(3): 305-320.
- [12] SLIKKER M, van den NOUWELAND A. Social and economic networks in cooperative game theory[M]. New York: Springer Science + Business Media, 2001.
- [13] 李梦斐. 我国“医联体”发展现状与对策研究[D]. 济南: 山东大学, 2017.
LI M F. Research upon development status and countermeasure suggestions of hospital united systems in China[D]. Ji'nan:

- Shandong University, 2017.
- [14] SHAPLEY L S. Utility comparison and the theory of games[J]. *La Décision: Aggregation et Dynamique des Ordres de Preference*, 1969, 171: 251-263.
- [15] 宋承先. 现代西方经济学[M]. 上海: 复旦大学出版社, 1994.
- SONG C X. Modern western economics[M]. Shanghai: Fudan University Press, 1994.
- [16] DRIESSEN T. Cooperative games, solutions and applications[M]. Dordrecht: Springer Science + Business Media, 1988.
- [17] COBB C W, DOUGLAS P H. A theory of production[J]. *American Economic Review*, 1928, 18(1): 139-165.
- [18] 贾青慧. 柯布-道格拉斯生产函数的回归公式[J]. *甘肃联合大学学报(自然科学版)*, 2011, 25(2): 36-39.
- JIA Q H. The regression formula of Cobb-Douglas production function[J]. *Journal of Gansu Lianhe University (Natural Science)*, 2011, 25(2): 36-39.
- [19] 阮陆宁, 甘筱青. 双向转诊的关系契约[J]. *南昌大学学报(理科版)*, 2012, 36(3): 296-300.
- RUAN L N, GAN X Q. On dual referral of relational contract[J]. *Journal of Nanchang University (Natural Science)*, 2012, 36(3): 296-300.
- [20] 蔡蕾, 史纪磊, 李理, 等. 基于图限制合作博弈有效分配原则的医疗联合体利益分配机制[J]. *系统管理学报*, 2021, 30(2): 393-400.
- CAI L, SHI J L, LI L, et al. Mechanism of benefit distribution in medical treatment combination based on the principle of effective distribution of graph-restricted cooperative game[J]. *Journal of System & Management*, 2021, 30(2): 393-400.
- [21] MOHEBBI S, LI X P, WYATT T. Designing an incentive scheme within a cooperative game for consolidated hospital systems[J]. *Journal of the Operational Research Society*, 2020, 71(7): 1073-1144.
- [22] 单而芳, 史纪磊, 蔡蕾. 具有联盟和概率图结构合作对策的分配规则及其应用[J]. *中国管理科学*, 2024, 32(1): 137-145.
- SHAN E F, SHI J L, CAI L. The allocation rule for TU-games with coalition and probabilistic graph structures and its applications[J]. *Chinese Journal of Management Science*, 2024, 32(1): 137-145.
- [23] 蔡蕾. 基于若干模型分析及比较的医联体效用优化研究综述[J]. *工业工程与管理*, 2021, 26(4): 151-157.
- CAI L. A review of research on the optimization of the utility of the medical associations based on the analysis and comparison of several models[J]. *Industrial Engineering and Management*, 2021, 26(4): 151-157.

Operations Research and Cybernetics

Application and Development of Cooperative Game in the Utility Distribution of Medical Treatment Combination

CAI Lei¹, SHAN Erfang²

(1. Shanghai General Hospital, Shanghai 200080; 2. School of Management, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: In essence, the relationship among members Medical Treatment Combination (hereinafter referred to as MTC) is a cooperative game. A reasonable cooperative utility distribution scheme is conducive to the sustainable development of MTC. Therefore, based on the Shapley value method in cooperative game theory, the distribution amount of each member is calculated and the cooperative utility of MAC is evaluated. The distribution results not only meet the input-output constraints, but also meet the incentive level constraints, which can guarantee the stability of the cooperation of MTC members. So as to provide a basis for the audit evaluation of MTC management fees, and provide a reference for deepening the reform of medical system and promoting the high-quality development of public hospitals.

Keywords: cooperative game; medical treatment combination; utility; distribution; application; development

(责任编辑 黄 颖)