

Evolutionary game analysis and economic and social value research of the camel innovation iron triangle model

Guosheng Wang

Henan Tuoren Medical Equipment Group Co., Ltd., Changyuan, Henan, 453400, China

Abstract

This paper uses evolutionary game theory to analyze the cooperation behavior of hospitals, enterprises, and university research institutions under Tuoren's innovative iron triangle model. A game model is constructed and the evolutionary stable strategies are analyzed, and the effectiveness of the model is verified through a case study. The research shows that when the cooperation benefits are significantly higher than the non-cooperation benefits, the three parties tend to cooperate. This model reduces costs, improves efficiency, and drives industrial development in terms of economic benefits; it improves medical treatment, cultivates talents, and promotes scientific and technological transformation in terms of social benefits, with good comprehensive benefits and promotional value. However, there are limitations in the research. In the future, it is necessary to improve the model, strengthen data collection, and expand application scenarios.

Keywords

Tuoren's innovative iron triangle model; evolutionary game; economic benefits; social benefits; industry-university-research cooperation

驼人创新铁三角模式的演化博弈分析及其经济社会价值研究

王国胜

河南驼人医疗器械集团有限公司，中国·河南长垣 453400

摘要

本文运用演化博弈理论，剖析驼人创新铁三角模式下医院、企业和高校科研院所三方合作行为。构建博弈模型并分析演化稳定策略，通过案例验证模型有效性。研究表明，当合作收益显著高于不合作收益时，三方趋向合作。该模式在经济效益上降低成本、提升效率、带动产业发展；社会效益上改善医疗、培养人才、推动科技转化，综合效益良好，具推广价值。但研究存在局限，未来需完善模型、加强数据收集和拓展应用场景，此文章仅供参考。

关键词

驼人创新铁三角模式；演化博弈；经济效益；社会效益；产学研合作

1 引言

随着医药卫生体制改革的持续深化以及“健康中国”战略的全面推进，医疗行业对创新的需求呈现出前所未有的迫切态势。科技创新与产业创新的深度融合，已然成为医疗行业发展的必然趋势。在此时代背景下，驼人集团创新提出的“创新铁三角”模式，创造性地整合医院、企业和高校科研院所三方资源，构建起以临床需求为导向的创新生态系统，为医疗器械领域实现技术突破与推动成果转化开辟了全新路径，提供了极具价值的新思路。

博弈论作为研究决策主体间相互作用和策略选择的经典理论工具，能够为剖析三方合作中的利益分配难题与稳定

性问题提供行之有效的分析方法。通过构建博弈模型，我们可以深入探究医院、企业和高校科研院所合作进程中的决策行为逻辑与策略选择机制，精准揭示合作过程中矛盾和冲突产生的根源，从而为制定科学合理的合作机制与政策提供坚实的理论依据。而演化博弈理论进一步突破传统博弈论的假设局限，充分考虑参与主体的有限理性特征以及策略的动态演化过程，这一特性使其更贴合现实中合作关系发展变化的实际情况。通过模拟医院追求临床价值、企业追逐利润、高校致力于学术成果产出的策略演化轨迹，演化博弈理论能够对合作的均衡点进行预测，为促进三方建立长期稳定的合作关系提供更具前瞻性和战略性的指导。

2 演化博弈模型构建

在驼人创新铁三角模式中，假定医院、企业和高校科研院所三方共同参与合作创新。为简化模型分析，我们首先假设三方在合作过程中拥有完全信息，即各方都能够清晰、

【作者简介】王国胜（1965-），男，中国河南省长垣人，博士，教授，正高级工程师，从事医疗器械的研发和科学研究。

准确地了解其他方的策略选择以及相应的收益情况。尽管这一假设在现实场景中难以完全达成，但作为理论研究的起点，有助于我们梳理合作关系的基本逻辑。同时，基于经济主体的行为逻辑，我们设定三方在决策时均以追求自身利益最大化为根本目标。

在合作过程中，三方各自均存在两种策略选择，即“合作”与“不合作”。为便于量化分析三方的策略选择和收益状况，我们引入概率变量：设医院选择合作策略的概率为 x ($0 \leq x \leq 1$)，则其选择不合作策略的概率为 $1-x$ ；企业选择合作策略的概率为 y ($0 \leq y \leq 1$)，不合作策略的概率为 $1-y$ ；高校科研院所选择合作策略的概率为 z ($0 \leq z \leq 1$)，不合作策略的概率为 $1-z$ 。

当三方均选择合作策略时，医院不仅能够收获新医疗器械带来的临床效果显著提升的收益 $Rh1$ ，如显著提高治疗成功率、大幅减轻患者痛苦等^[1]，还会因合作带来医院声誉和影响力的提升，进而获取额外收益 $Rh2$ 。企业通过合作实现产品创新，成功将新产品推向市场，获取销售收入

$Re1$ ，并且随着产品竞争力的增强，企业能够进一步扩大市场份额，带来可持续的长期收益 $Re2$ 。高校科研院所借助合作推动科研成果转化，获得科研经费支持 $Ru1$ ，同时科研成果在实践中的成功应用将提升其学术声誉，为其带来更多科研合作机会和学术奖励，对应收益为 $Ru2$ 。此时，三方的收益矩阵为 $(Rh1+Rh2, Re1+Re2, Ru1+Ru2)$ 。

当三方都选择不合作策略时，医院、企业和高校科研院所仅能维持各自常规运营所产生的收益，分别记为 $Rh11$ 、 $Re11$ 和 $Ru11$ ，此时三方收益矩阵为 $(Rh11, Re11, Ru11)$ 。其余策略组合下的收益情况则介于上述两种极端情况之间。其中， R 代表收益 (Revenue)，下标前的字母用于区分不同主体 (Rh 表示医院 (Hospital) 的收益， Re 表示企业 (Enterprise) 的收益， Ru 表示高校科研院所 (University/Research Institute) 的收益)，下标数字对应不同策略组合下的具体收益场景。综合上述各种情形，完整的三方收益矩阵如下表所示：

医院、企业与高校科研院所三方不同策略组合下的收益矩阵

医院策略	企业策略	高校科研院所策略	医院收益	企业收益	高校科研院所收益
合作	合作	合作	$Rh1+Rh2$	$Re1+Re2$	$Ru1+Ru2$
合作	合作	不合作	$Rh3+Rh4$	$Re3+Re4$	$Ru3$
合作	不合作	合作	$Rh5+Rh6$	$Re5$	$Ru4+Ru5$
不合作	合作	合作	$Rh7$	$Re6+Re7$	$Ru6+Ru7$
合作	不合作	不合作	$Rh8$	$Re8$	$Ru8$
不合作	合作	不合作	$Rh9$	$Re9$	$Ru9$
不合作	不合作	合作	$Rh10$	$Re10$	$Ru10$
不合作	不合作	不合作	$Rh11$	$Re11$	$Ru11$

3 演化稳定策略分析

依据上述构建的收益矩阵，我们运用演化博弈理论中的复制动态方程，对三方策略的演化过程进行深入分析。^[2]

以医院为例，其选择合作策略的期望收益 U_hx 可表示为： $U_hx=yz(Rh1+Rh2)+y(1-z)(Rh3+Rh4)+(1-y)z(Rh5+Rh6)+(1-y)(1-z)Rh8$ ，选择不合作策略的期望收益 $U_h(1-x)$ 为： $U_h(1-x)=yzRh7+y(1-z)Rh9+(1-y)zRh10+(1-y)(1-z)Rh11$ ，医院的复制动态方程为： $F(x)=dt/dx=x(U_hx-U_h)$ ，其中， U_h 为医院的平均期望收益，进一步展开可得： $F(x)=x(1-x)[yz(Rh1+Rh2-Rh7)+y(1-z)(Rh3+Rh4-Rh9)+(1-y)z(Rh5+Rh6-Rh10)+(1-y)(1-z)(Rh8-Rh11)]$

同理，对于企业，其选择合作策略的期望收益 U_ey 为： $U_ey=xz(Re1+Re2)+x(1-z)(Re3+Re4)+(1-x)z(Re6+Re7)+(1-x)(1-z)Re9$ ，选择不合作策略的期望收益 $U_e(1-y)$ 为： $U_e(1-y)=xzRe5+x(1-z)Re8+(1-x)zRe10+(1-x)(1-z)Re11$ ，企业的复制动态方程为： $F(y)=dt/dy=y(U_ey-U_e)$ ，其中， U_e 是企业的平均期望收益，具体展开为： $F(y)=y(1-y)[xz(Re1+Re2-Re5)+x(1-z)(Re3+Re4-Re8)+(1-x)z(Re6+Re7-Re10)+(1-x)(1-z)(Re9-Re11)]$

对于高校科研院所，选择合作策略的期望收益 U_uz 为： $U_uz=xy(Ru1+Ru2)+x(1-y)(Ru4+Ru5)+(1-x)y(Ru6+Ru7)+(1-x)(1-y)Ru10$ ，选择不合作策略的期望收益 $U_u(1-z)$ 为： $U_u(1-z)=xyRu3+x(1-y)Ru8+(1-x)yRu9+(1-x)(1-y)Ru11$ ，高校科研院所的复制动态方程为： $F(z)=dt/dz=z(U_uz-U_u)$ ，其中， U_u 是高校科研院所的平均期望收益，详细展开为： $F(z)=z(1-z)[xy(Ru1+Ru2-Ru3)+x(1-y)(Ru4+Ru5-Ru8)+(1-x)y(Ru6+Ru7-Ru9)+(1-x)(1-y)(Ru10-Ru11)]$ 。

令 $F(x)=0$ ， $F(y)=0$ ， $F(z)=0$ ，可求解得到系统的均衡点，主要包括 $(0,0,0)$ ， $(0,0,1)$ ， $(0,1,0)$ ， $(0,1,1)$ ， $(1,0,0)$ ， $(1,0,1)$ ， $(1,1,0)$ ， $(1,1,1)$ 等。通过对这些均衡点稳定性的深入分析，能够确定演化稳定策略。对于均衡点 (x^*,y^*,z^*) ，若满足特定条件

$$\begin{cases} \left. \frac{\partial F(x)}{\partial x} \right|_{(x^*,y^*,z^*)} < 0 \\ \left. \frac{\partial F(y)}{\partial y} \right|_{(x^*,y^*,z^*)} < 0 \\ \left. \frac{\partial F(z)}{\partial z} \right|_{(x^*,y^*,z^*)} < 0 \end{cases}$$

则该均衡点为演化稳定策略。

当三方合作所带来的收益显著高于不合作收益时，即同时满足以下条件 $Rh1+Rh2-Rh7>0$ 、 $Re1+Re2-Re5>0$ 、

$Ru1+Ru2-Ru3>0$ 。此时, 均衡点 (1,1,1) 更有可能成为演化稳定策略。这意味着在这种情况下, 随着时间的推移, 医院、企业和高校科研院所三方将逐渐倾向于选择合作策略, 进而形成稳定的合作关系。

反之, 若合作收益不显著, 甚至低于不合作收益, 例如出现以下情况: $Rh8-Rh11<0$ 、 $Re9-Re11<0$ 、 $Ru10-Ru11<0$, 此时, 三方可能会逐渐转向不合作策略, 均衡点 (0,0,0) 则可能成为演化稳定策略, 导致合作关系难以维系。^[3]

4 案例分析

为了深入验证和分析驼人创新铁三角模式下的演化博弈理论及合作效果, 选取驼人集团与某医院、某高校科研院所(为保护隐私, 暂时隐去了单位名称)的合作案例进行详细剖析。

三方的合作背景基于医疗器械行业对创新的迫切需求以及各自发展的战略需要, 合作内容主要围绕生物医用材料、医用耗材、医用设备与器械等领域开展创新技术联合研发、测试验证、临床应用和转移转化。

在测试验证环节, 医院提供临床测试平台, 对研发出的医疗器械进行临床试验, 收集临床数据, 评估产品的安全性和有效性。高校科研院所利用其先进的实验设备, 对产品的材料性能、物理参数等进行实验室测试, 为产品的优化提供技术依据。驼人集团根据测试结果, 对产品进行改进和完善, 确保产品符合市场需求和质量标准。

在临床应用和转移转化方面, 医院率先将研发成功的医疗器械应用于临床治疗, 观察产品在实际使用中的效果, 并及时反馈给研发团队。驼人集团负责产品的产业化生产和市场推广, 将创新产品推向全国乃至全球市场。

将上述案例中的实际数据代入演化博弈模型进行深入分析。在合作初期, 由于三方对合作模式和收益预期存在不确定性, 各方的合作策略选择概率处于动态变化之中。假设初始时, 医院选择合作的概率 $x_0=0.3$, 企业选择合作的概率 $y_0=0.4$, 高校科研院所选择合作的概率 $z_0=0.35$ 。

根据案例中的实际收益情况, 确定模型中的收益参数。例如, 在心血管介入治疗器械的合作研发项目中, 如果三方合作成功, 医院通过提高治疗效果和患者满意度, 获得临床效果提升收益 $Rh1=50$ (单位: 百万元, 下同), 声誉提升收益 $Rh2=20$; 企业通过产品创新和市场拓展, 获得销售收入 $Re1=200$, 长期市场份额扩大收益 $Re2=100$; 高校科研院所通过科研成果转化和学术声誉提升, 获得科研经费支持 $Ru1=80$, 学术声誉收益 $Ru2=30$ 。

当只有两方合作时, 假设医院和企业合作, 而高校科研院所不合作, 医院由于缺乏高校的技术支持, 临床效果提升收益降为 $Rh3=30$, 声誉收益降为 $Rh4=10$; 企业销售收入降为 $Re3=120$, 市场份额扩大收益降为 $Re4=60$; 高校科研院所仅获得常规收益 $Ru3=20$ 。其他各种策略组合下的收益参数也根据实际情况进行了合理设定。

通过演化博弈模型的复制动态方程, 计算三方在不同

时间点的合作策略选择概率变化。在合作初期, 由于各方对合作收益的不确定性和对风险的担忧, 合作概率增长较为缓慢。随着合作的推进, 三方逐渐认识到合作带来的巨大收益, 并且通过建立有效的沟通协调机制和利益分配机制, 降低了合作风险, 合作概率开始快速上升。

在合作过程中, 也出现了一些矛盾和问题, 主要体现在利益分配和责任界定方面。针对这些矛盾, 三方采取了一系列协调机制。通过这些协调机制的实施, 三方的合作关系逐渐趋于稳定, 合作概率持续上升。经过一段时间的演化, 三方选择合作策略的概率逐渐收敛到一个稳定状态, 即 $x^*\approx 0.9$, $y^*\approx 0.95$, $z^*\approx 0.9$ 。这表明在长期合作过程中, 三方逐渐认识到合作的重要性和收益, 选择合作成为了各方的最优策略, 实现了演化稳定。

这一结果与演化博弈模型的结论相一致: 当合作收益显著高于不合作收益时, 三方倾向于选择合作策略。这也验证了模型在分析“驼人创新铁三角模式”下三方合作行为的有效性和实用性。

5 结论与展望

驼人创新铁三角模式通过企业、医院与高校科研院所的合作, 在经济与社会效益层面均取得突出成效。基于演化博弈理论的研究表明, 明确的合作收益、合理的风险分担及顺畅的信息共享, 是推动三方持续合作的核心要素。实际合作中, 驼人集团通过建立有效沟通协调和利益分配机制, 成功将初期的低积极性转化为稳定合作, 验证了理论模型的可靠性。

在经济效益上, 该模式显著降低企业研发成本, 提升创新效率, 助力企业推出高竞争力产品, 扩大市场份额, 带动区域产业集聚与就业增长。社会效益方面, 新型医疗器械的研发应用改善了临床治疗效果, 智能设备提升医疗服务效率; 跨领域合作培养了大量复合型专业人才, 加速科研成果转化, 推动行业技术进步。^[4]综合评估显示, 其综合效益达到“良好”以上, 具备广泛推广价值。然而, 现有研究仍存在局限。模型构建对政策环境、市场竞争等复杂因素考虑不足, 数据获取的敏感性和不完整影响研究精度, 且模式在不同地区、医疗领域的适应性研究尚浅。未来, 研究可从三方面深化: 一是完善理论模型, 纳入多元变量, 构建动态博弈框架; 二是加强数据收集, 运用大数据等技术提升分析准确性; 三是拓展应用场景, 通过实证研究探索模式在不同情境下的优化策略, 并结合多学科视角剖析合作机制, 为医疗器械创新发展提供更坚实的理论与实践支撑。

参考文献

1. 郇敏浩, 刘明强, 等. 基于演化博弈的医院企业科研合作机制研究[J]. 中国医院管理, 2023, 43(8): 60-63.
2. 王晓华. 实现医院经济与社会效益双赢的思考[J]. 产业与科技论坛, 2008, 7(4): 254-255.
3. 张志宏. 政府-企业-高校合作创新的博弈分析[J]. 民营科技, 2012(10): 195.
4. 林仲源. “以医养医”问题的演化博弈分析[J]. 中国民族民间医药, 2014, 23(4): 25-26+28.