

多主体共建转化医学创新生态系统的演化研究

王 畅^{1,2}, 王蒲生^{1,2}

(1. 清华大学深圳国际研究生院, 广东 深圳 518055;

2. 清华大学科学技术与社会研究中心, 广东 深圳 518055)

摘要:为跨越医学创新中的“死亡之谷”, 发展新质生产力应重视研究型医院的知识生产价值, 构建协同创新与知识共享的生态系统。基于网络嵌入和创新生态系统理论, 提出研究型医院嵌入传统由医疗科技企业主导的创新网络, 参照转化医学中心的制度逻辑, 构建三方演化博弈模型。结合访谈进行赋值仿真, 探究初始意向、政府引导、自组织约束对演化路径的影响。研究发现, 转化医学创新生态系统的演化稳定策略包括三方共建的资源集聚型、政府支持的政策引导型和均不参与的主体分散型, 也存在生态自组织型的局部稳定策略。研究型医院嵌入创新网络, 更倾向于获取长期协同收益; 医疗科技企业传递协作网络, 逐步实现关系嵌入到结构嵌入, 为生态运行发挥更强的内生推动作用; 除政府补贴和奖励外, 生态自组织的机会主义惩罚产生内部约束, 政府可由直接干预转向监督治理。基于此, 提出促进转化医学创新生态演进的行动策略。

关键词:研究型医院; 转化医学中心; 演化博弈; 网络嵌入; 创新生态系统

中图分类号: G311

文献标识码: A

文章编号: 1005-0566(2025)06-0075-13

Study on the evolution of multi-stakeholder collaboratively constructed translational medicine innovation ecosystem

WANG Chang^{1,2}, WANG Pusheng^{1,2}

(1. Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Shenzhen 518055, China;

2. Study of science and technology and society of Tsinghua university, Shenzhen 518055, China)

Abstract: To bridge the persistent “valley of death” in medical innovation, this study highlights the role of research hospitals in knowledge production and calls for a collaborative, knowledge-sharing innovation ecosystem. Drawing on theories of network embeddedness and innovation ecosystems, it develops a tripartite evolutionary game model involving research hospitals, government, and medical technology enterprises, inspired by the institutional logic of translational medicine centers. Parameter settings are informed by expert interviews and simulation is used to explore the impact of initial intentions, governmental incentives, and self-organizing constraints. Results reveal four stable evolutionary paths: resource-convergent co-construction, policy-driven government leadership, actor-dispersed disengagement, and locally stable self-organization. Research hospitals prefer long-term gains through deeper network embedding; enterprises gradually move from relational to structural embeddedness, thus becoming stronger endogenous drivers than government

收稿日期: 2025-03-27 修回日期: 2025-06-03

基金项目: 深圳市哲学社会科学规划课题重点课题: 粤港澳大湾区高水平人才高地建设研究(SZ2024A001); 深圳市人文社会科学重点研究基地成果。

作者简介: 王畅(1998—), 男, 河南淮阳人, 清华大学深圳国际研究生院、科学技术与社会研究中心博士研究生, 研究方向为科技创新政策、创新生态治理。

support. Meanwhile, self-organized ecosystems impose internal constraints through sanctions against opportunism, allowing government to shift from direct intervention to supervisory governance. The study proposes strategic actions to support the coordinated evolution of translational medical innovation ecosystems.

Key words: research hospitals; translational medicine center; evolutionary game; network embedding; innovation ecosystem

医疗技术创新是培育新质生产力的重要构成。2024 年,党的二十届三中全会将生物医药作为战略性新兴产业。2023 年,中共中央办公厅、国务院办公厅发布的《关于进一步完善医疗卫生服务体系的意见》提出加快卫生健康科技创新体系建设,突出医疗卫生机构创新资源聚集平台的作用^[1]。但医学新质生产力的发展,仍然受到创新链条割裂、科研与临床脱节、知识流动受限等因素的制约。研究型医院能够依托“临床诊疗+医学研究”的双重角色,增强创新转化能力^[2],具有推动医学科技创新的“前端研究优势”。

创新供给框架下,研究型医院通过嵌入医学研究网络,联合医疗科技企业共建转化医学中心,通过“Bench to Bed”的路径^[3],贯通了基础研究、临床验证、技术评估与社会转化应用^[4],持续促进医疗应用需求与基础科学供给之间的互动,从而加速医学创新。这种开放协同、动态演化的知识生产与应用网络,成为打通转化医学创新链的关键。但研究型医院主导建设的转化医学中心,面临缺乏医学协作网络的“后端进入劣势”,包括合规经验不足、转化人员缺乏、应用推广渠道有限、数据壁垒、组织利益分化等因素。对此,医疗科技企业嵌入转化医学中心,共建创新生态系统,传递其合作网络能够实现有效互补^[5],建立贯穿医学创新应用全过程的科学发展体系^[6],从而支持医学科技创新更多更快地跨越“死亡之谷”。

关于研究型医院和医疗科技企业共建转化医学中心,借助网络嵌入形成创新生态系统,现有文献对此已有一定探索,主要围绕医学创新生态系统的构成,网络嵌入的类型、过程和表现等内容。多主体协作过程研究停留在宏观层面,较少涉足中观维度,且相关研究较为发散。一方面,尚未充分重视研究型医院在医学知识生产系统中的突出价值,转化医学中心的研究协作网络仍隐于幕后,需要统合网络嵌入与创新生态系统理论加以论

述。另一方面,分析资料多为横截面的短时期协作行为,相关实证研究未能体现转化医学“长周期性”这一核心特点;自组织的创新生态如何从最初的关系网络嵌入,实现结构网络嵌入,需要解析多主体的博弈过程。为此,本文围绕“研究型医院、医疗科技企业如何通过网络嵌入推进转化医学研究协作,在与政府的互动中实现‘关系嵌入到结构嵌入’,乃至共建创新生态系统”这一核心问题,建立由研究型医院、政府、医疗科技企业组成的三方演化博弈模型,从主体嵌入意愿、政府引导机制和生态自组织约束等方面分析多方嵌入转化医学中心创新协作网络的演化路径和稳定结构。

本文的学术边际贡献在于:①聚焦转化医学中心背后的协同网络,拓展网络嵌入理论在医学创新生态系统中的应用研究;②从过程视角细分关系嵌入到结构嵌入,将单一时间段延展至更长周期,揭示研究型医院通过知识网络嵌入获取长期收益的路径,医疗科技企业通过协作网络结构化嵌入实现创新迭代的过程;③借助演化博弈模型和仿真模拟推进医学创新生态系统运行研究,揭示多种因素对多方共建转化医学中心策略稳定性的影响,总结出多种策略模式。本文的实践价值在于:一是强调除临床试验平台之外,研究型医院在医学创新生态系统中的知识生产价值,医学创新转化要重视医院、医生等主体;二是医疗科技企业的网络化优势在于市场端的协作网络,能够借助医院临床试验和效果评估降低风险担忧;三是政府应分阶段推进治理,前期加强补贴奖励引导主体积极嵌入协作网络,支持建立系统内外部监督和秩序以抑制机会主义,后期转向生态治理,监督自组织行为。

一、文献综述

依托转化医学中心协同各方搭建研发平台,形成创新生态系统,需要医疗科技企业、医疗卫生机构等积极嵌入网络。近年来,相关研究的主题

较为分散,包括以医疗科技企业、高校科研院所为核心的医学创新生态系统,以企业合作为代表的网络嵌入理论和过程研究等,尚缺乏对研究型医院作为创新主体的价值研究,以及对多主体嵌入转化医学创新生态系统的过程解析。

过往的医学创新生态系统研究,多强调医疗科技企业、基础科研院所等主体,但忽视了研究型医院的创新价值。如图1右侧所示,医疗科技企业已和其他产业组织,特别是产业链上下游形成了较为稳定的协同关系;能够借助生态链和信息链传递医学研发知识,具有资本支持、社会化推广以及真实世界评估方面的优势^[7]。医疗科技企业更侧重于成果转化与产品落地,高校科研院所负责生命科学、基础医学的研究。企业亦能把握转化医学研究的应用导向、产品验证等过程,提供医药生产、器械服务等创新资源^[8]。政府虽不会直接参与转化医学研究,但却是优化医学研究政策、促进资源流动、监督医学伦理的关键角色。例如,支持建立创新生态、监管技术合作、保护数据要素安全、促进专利转让等举措^[9],保障了转化医学中心建设。协同研究网络也需要各类中介机构参与,如科技金融服务、基础科研支撑等,需要良好创新

环境的建设。

面对医学创新的“死亡之谷”,国家推动医学新质生产力的发展,应重视研究型医院的知识生产功能,引导其嵌入转化医学创新生态系统。转化医学强调“临床(问题导向)—研究—转化—临床(应用导向)”的全过程创新链条,与研究型医院坚持临床与科研融合,加速创新医学知识和医疗技术产出应用的战略定位高度契合^[10]。如图1左侧所示,研究型医院建设转化医学中心,嵌入创新协同网络后,医疗机构在提供诊疗服务外,通常会部分承担临床试验功能,招募病患,评估医药或器械的诊疗效果^[11]。医疗科技企业能够与医疗机构、医患群体建立关系网络,获取基础研究成果与临床研究方向。可见,随着开放科学发展,研究型医院的高水平临床平台,可以作为医学知识生产系统,凭借医学科研能力、基础医学支持,医疗服务、器械耗材和试验的数据积累,临床诊疗经验和专业知识等,嵌入医学创新研究的知识网络^[12],通过转化医学中心加速医疗创新,成为创新知识生产枢纽。医疗科技企业通过产业资源整合推动技术验证与商业化应用,政府则通过政策引导和资源调配优化创新环境。

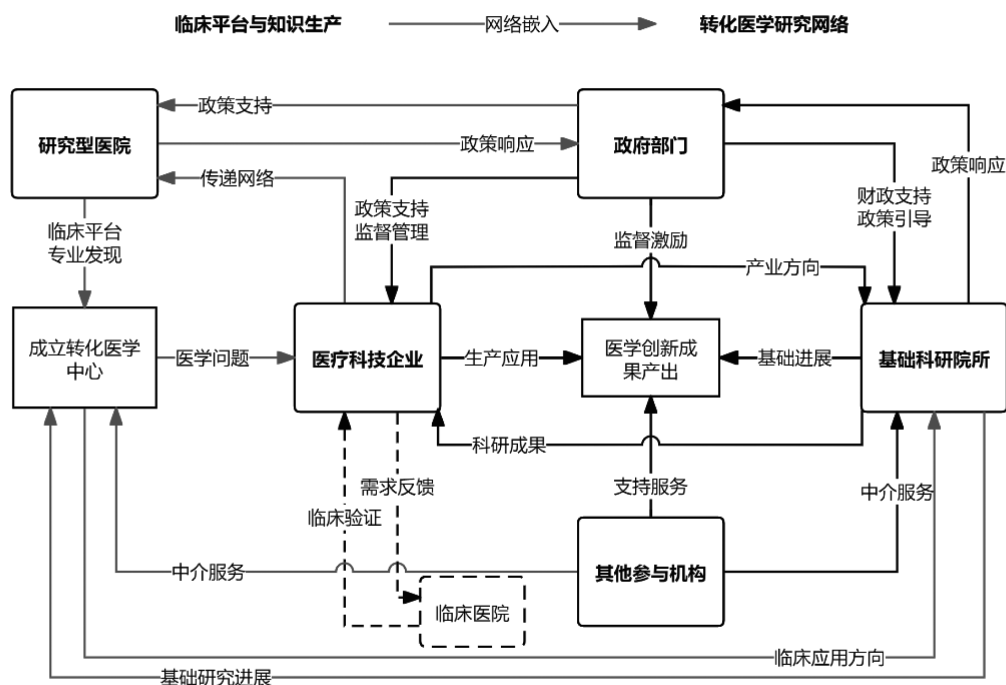


图1 研究型医院嵌入医学研究网络共建转化医学中心的路径

网络嵌入理论为解析多主体共建转化医学创新生态的过程提供了重要视角。在初始阶段,学者发现知识网络嵌入源于知识传递需求和网络嵌入性特征^[13]。Burt^[14]的结构洞理论提出,社会网络嵌入呈现关系传递性,尽管两个主体可能事先没有任何关联,但可以通过“第三方”建立联结。研究型医院正是凭借科研优势,通过建设转化医学中心以嵌入医学创新转化的知识网络。还有研究指出新创科技型企业依托二元关系,通过第三方引介实现结构嵌入的协同创新目标^[15]。面向创新产业集群这个成长载体^[16],企业借助网络嵌入获得更多资源支持,降低经验缺乏、资源不足的影响^[17]。研究型医院和医疗科技企业共建转化医学中心,有助于扩展知识生产研发网络,加速知识流动以促进创新转化。

在网络强化和生态形成阶段,嵌入主体通过知识网络嵌入、价值链嵌入,保持与系统内组织的联系,实现深层次嵌入成为该主体构建创新生态系统的的目标^[18]。关于创新生态系统组成因子的演化动力,研究发现科研院所和产业企业应当分别关注临床需求与原始技术创新动态以加强互动^[19]。此外,政府作为外部力量,是影响初创企业嵌入绩效的关键主体^[20],能够支持资源获取与社会网络建构^[21],出台政策加速新创企业发展^[22],提供资金资助与税收减免等^[23]。依托共同的创新平台,生态系统内不同主体促进基础研究、临床应用与政府政策的双向知识转化^[3],从而强化网络效应和共有专业化利益^[6],开展强互补性的协同研究。

尽管网络嵌入程度随着关系传递的深化而不断提高,组织间关系也会逐步从市场交易、创新合作,走向组织信任与利他主义。但过程中研究型医院会面临嵌入壁垒或阻碍,这多是由于创新网络内部对外部主体的不信任,或是对初创主体不具备合作潜力和资质的质疑^[24],导致许多转化医学中心形同虚设。初入医疗创新研究与转化领域的研究型医院,凭借临床平台和医学知识生产的基础优势^[25],可以借助“结网”行动,如成立转化医学中心,获得医疗科技企业传递的协作网络,持续扩大转化研究的网络边界^[26]。政府作为初始创新的干预方,能够围绕研究型医院参与转化医学

研究制定支撑性政策,如在嵌入期引导支持,加强平台建设吸引协作网络等^[27-28]。

网络嵌入理论的应用,进一步揭示了研究型医院等主体共建创新生态系统,从“关系联结”到“结构共生”的动态过程,以及临床需求与技术创新的双向协同。然而,多数研究聚焦单一主体或静态网络,对多主体动态博弈下生态系统的演化路径关注不足。政府如何通过阶段性政策调整平衡短期激励与长期治理?研究型医院与企业的信任壁垒如何随网络深化而消解?这些问题尚缺乏跨周期研究支持,需要探究各主体的策略选择动因,分析医院的长期收益偏好与企业短期技术验证需求的博弈,以及机会主义惩罚等自组织约束如何与政府干预互动。

因此,本文建立三方演化博弈模型,将研究型医院纳入医学创新网络,解析多主体在“初始意向—资源集聚—生态自组织”阶段的策略互动,探究转化医学创新生态系统的演化过程与稳定策略,也揭示政府引导从直接补贴转向监督治理的临界条件。

二、转化医学创新网络嵌入的演化博弈模型

演化博弈强调通过大量主体间互动,总结其策略适应与路径依赖。本文使用三方演化博弈模型,提炼研究关注的代表性收益结构和关键变量,探究政府参与下研究型医院、医疗科技企业分别嵌入转化医学研究中心创新网络,开展多次博弈的过程。

(一) 博弈主体及其策略

面对研究型医院是否共享知识资本和平台资源以嵌入转化医学研究网络的行动,假设医疗科技企业和政府部门都会做出符合成本收益平衡的策略。

研究型医院嵌入创新网络,可以通过共享医学研究知识,展现协同平台和知识资本,与其他研发主体合作^[29]。但知识泄露风险、共享成本以及创新生态壁垒也会对研究型医院的嵌入意愿产生负面影响,形成“嵌入”乃至“不嵌入”网络的策略选择,概率分别为 x 和 $1-x$ 。

医疗科技企业为建立更多的创新合作网络,通过占据结构洞的方式,获得转化医学研究的异质性知识,将已经建成的创新研发网络通过嵌入

行动“传递”给研究型医院。但考虑到嵌入行为产生的机会主义风险、协作网络拥塞问题、嵌入壁垒,医疗科技企业也会存在“不嵌入”转化医学网络的策略。嵌入和不嵌入的概率分别为 y 和 $1 - y$ 。

产出医学创新是政府重要目标,为突破“卡脖子”难题,政府会提供各种政策支持,促进研究型医院与医疗科技企业在创新生态系统中协同研究,推动转化医学中心建设。具体可分为支持与不支持基于知识共享形成转化医学协作网络,概率分别为 z 和 $1 - z$, 以上 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 。

各主体嵌入转化医学研究网络,是收益吸引力与成本风险力,乃至生态约束之间动态博弈的过程^[30]。博弈假设如下:①研究型医院(H)、医疗科技企业(E)与政府(G)作为主体以有限理性参与博弈过程;②形成转化医学中心的研究网络乃至创新生态系统需要三者共同参与,策略举措取决于个体收益成本和其他成员的决策;③各方主体决策的成本和收益可衡量;④研究型医院和医疗科技企业嵌入创新网络,政府支持提升网络交互的博弈和演进过程,存在各方均能接受的且获得最佳收益的决策结果^[31]。

(二) 博弈收益、成本与生态约束

研究型医院通过知识和平台共享,嵌入转化医学研究网络,会给各方带来收益。研究型医院、医疗科技企业在嵌入前的初始收益为 R_1 与 R_2 。嵌入后研究型医院获得合作网络,产生收益 ΔR_1 。由于转化医学中心多为医院建设,无论医疗科技企业是否选择嵌入,都可以得益于研究型医院分享的试验平台和异质性知识,医学成果转化、临床试

验取得新进展,获得收益 ΔR_2 ^[32]。政府部门支持嵌入行为,产生经济、社会效益,如医疗服务优化、健康状况改善等收益 R_3 。本文假设 $\eta (0 < \eta < 1)$ 为政府“不支持”所获得收益占“支持”的比例,即 ηR_3 为政府“不支持”的收益。

转化医学中心共建研究网络,需要各方承担一定成本。研究型医院投入的人力、物力或财力,以及知识泄露的风险成本,可概括为 C_1 。医疗科技企业通过传递各类协作和后期支持以实现网络嵌入,会产生如资源投入、声誉损失风险、提供转化研究渠道等成本 C_2 。政府支持研究型医院促进知识共享和网络共建,考虑医疗安全、数据风险治理,需投入监管成本 C_3 。由于转化医学中心多以医院为主体,因此假设提供补贴系数 β , 支持研究型医院建设协同研究网络,对可以获得医院开放知识的企业不进行补贴。

在强调有组织研究的创新体系内,政府采取激励措施会显著影响个体策略选择,如给予研究型医院和医疗科技企业以奖励 A_1 和 A_2 。此外,研究网络形成的创新生态具有自组织特征,具有隐形激励和内在约束作用。研究型医院和医疗科技企业因其知识资本共享和协作网络传递行为,未来得到更多协同机会,获得隐形激励 ΔK_1 和 ΔK_2 。研究型医院和医疗科技企业可能有一方采取消极行为,变差的协作形象在强调长期价值的创新生态中面临隐形惩罚,分别为 ΔE_1 和 ΔE_2 。

根据各主体的博弈策略、成本收益与激励惩罚情况,计算研究型医院、医疗科技企业和政府的博弈支付矩阵如表 1 所示。

表 1 三方演化博弈支付矩阵

博弈方				政府	
				支持 (z)	不支持 ($1 - z$)
研究型医院	嵌入网络 (x)	医疗科技企业	嵌入网络 (y)	$R_1 + \Delta R_1 - C_1 + \beta C_1 + \Delta K_1 + A_1$ $R_2 + \Delta R_2 - C_2 + \Delta K_2 + A_2$ $R_3 - C_3 - \beta C_1 - A_1 - A_2$	$R_1 + \Delta R_1 - C_1 + \Delta K_1$ $R_2 + \Delta R_2 - C_2 + \Delta K_2$ ηR_3
			不嵌入网络 ($1 - y$)	$R_1 - C_1 + \beta C_1 + \Delta K_1 + A_1$ $R_2 + \Delta R_2 - \Delta E_2$ $R_3 - C_3 - \beta C_1 - A_1$	$R_1 - C_1 - \Delta K_1$ $R_2 + \Delta R_2 - \Delta E_2$ ηR_3
	不嵌入网络 ($1 - x$)	医疗科技企业	嵌入网络 (y)	$R_1 + \Delta R_1 - \Delta E_1$ $R_2 - C_2 + \Delta K_2 + A_2$ $R_3 - C_3 - A_2$	$R_1 + \Delta R_1 - \Delta E_1$ $R_2 - C_2 + \Delta K_2$ ηR_3
			不嵌入网络 ($1 - y$)	R_1 R_2 $R_3 - C_3$	R_1 R_2 ηR_3

(三) 演化稳定策略

1. 研究型医院的演化博弈均衡

假设研究型医院嵌入转化医学研究网络的期望收益为 U_{H1} , 不嵌入的期望收益为 U_{H2} , 平均期望收益为 $\bar{U}_H$, 则期望收益计算如下:

$$U_{H1} = yz(R_1 + \Delta R_1 - C_1 + \beta C_1 + \Delta K_1 + A_1) + (1-y)z(R_1 - C_1 + \beta C_1 + \Delta K_1 + A_1) + y(1-z)(R_1 + \Delta R_1 - C_1 + \Delta K_1) + (1-y)(1-z)(R_1 - C_1 - \Delta K_1)$$

$$U_{H2} = yz(R_1 + \Delta R_1 - \Delta E_1) + (1-y)z R_1 + y(1-z)(R_1 + \Delta R_1 - \Delta E_1) + (1-y)(1-z) R_1$$

$$\bar{U}_H = x U_{H1} + (1-x) U_{H2}$$

可以计算出研究型医院嵌入转化医学研究网络的复制动态方程为

$$F(x) = dx/dt = x(U_{H1} - \bar{U}_H) = x(1-x) [z(\beta C_1 + A_1) + y\Delta E_1 + \Delta K_1 - C_1] \quad (1)$$

可令 $z_0 = (C_1 - y\Delta E_1 - \Delta K_1)/(\beta C_1 + A_1)$, 从而讨论以下两种情况。

其一, 当 $z = z_0$ 时, $F(x) = 0$, 这表明无论研究型医院选择是否嵌入网络, 或者嵌入的初始概率如何, 最后都会保持稳定状态, 不会随时间改变而变化。

其二, 当 $z \neq z_0$ 时, 可令 $F(x) = 0$, 求解出两个稳定点, 即 $x = 0$ 与 $x = 1$ 。继续对 $F(x)$ 求导, 得到: $dF(x)/dx = (1-2x)[(z(\beta C_1 + A_1) + y\Delta E_1 + \Delta K_1 - C_1)]$ 。根据演化博弈均衡分析的条件, 稳定策略 (ESS) 的前提为 $dF(x)/dx < 0$, 这时可分为两种情况讨论:

(1) 当 $z < z_0$ 时, $(dF(x)/dx)|_{x=0} < 0$, $(dF(x)/dx)|_{x=1} > 0$, 其中 $x = 0$ 为演化稳定策略 (ESS) 点。

(2) 当 $z > z_0$ 时, $(dF(x)/dx)|_{x=1} < 0$, $(dF(x)/dx)|_{x=0} > 0$, 由此可推出 $x = 1$ 为 ESS 点。

总结得出研究型医院嵌入转化医学研究网络的动态演化示意图 (见图 2)。图中阴影将演化博弈空间分割为 a 和 b 两个部分, 分别对应 $z > z_0$ 与 $z < z_0$ 两种情况, 表明研究型医院以 a 的初始状态博弈, 最终停留在 $x = 1$ 这一 ESS 点上, 趋向于通过知识共享和协同研究以嵌入转化医学网络。初始状态位于 b 空间的研究型医院在演化博弈中的均衡点

为 $x = 0$, 倾向于不嵌入研究网络。

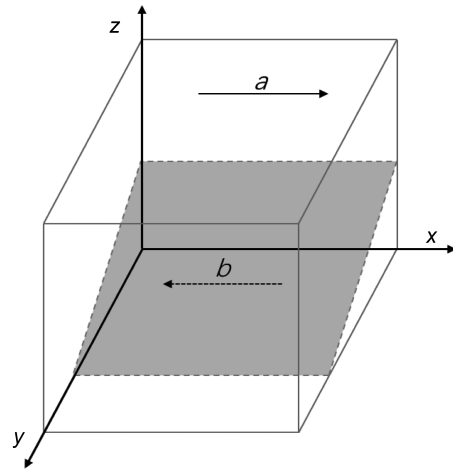


图 2 研究型医院积极共享知识嵌入创新生态的动态演化

2. 医疗科技企业的演化博弈均衡

医疗科技企业选择“传递”协作关系以嵌入转化医学研究网络的期望收益为 U_{M1} , 不嵌入的期望收益为 U_{M2} , 平均期望收益为 $\bar{U}_M$, 具体如下:

$$U_{M1} = xz(R_2 + \Delta R_2 - C_2 + \Delta K_2 + A_2) + x(1-z)(R_2 + \Delta R_2 - C_2 + \Delta K_2) + (1-x)z(R_2 - C_2 + \Delta K_2 + A_2) + (1-x)(1-z)(R_2 - C_2 + \Delta K_2)$$

$$U_{M2} = xz(R_2 + \Delta R_2 - \Delta E_2) + x(1-z)(R_2 + \Delta R_2 - \Delta E_2) + (1-x)z R_2 + (1-x)(1-z) R_2$$

$$\bar{U}_M = y U_{M1} + (1-y) U_{M2}$$

同理计算得到医疗科技企业的复制动态方程: $F(y) = dy/dt = y(U_{M1} - \bar{U}_M) = y(1-y) (x\Delta E_2 + zA_2 + \Delta K_2 - C_2)$, 可令 $x_0 = (C_2 - \Delta K_2 - zA_2)/\Delta E_2$, 以讨论博弈情形。

其一, 当 $x = x_0$ 时, 复制动态方程 $F(y) = 0$, 表明医疗科技企业是否嵌入的意愿, 不会受到多次博弈的影响而发生变化。

其二, 当 $x \neq x_0$ 时, 令复制动态方程 $F(y) = 0$, 求解出两个稳定点 $y = 0$ 与 $y = 1$ 。对 $F(y)$ 求导可得, $dF(y)/dy = (1-2y)[(x\Delta E_2 + zA_2 + \Delta K_1 - C_2)]$; 比较 x 与 x_0 的大小, 两种情况如下:

(1) 当 $x < x_0$ 时, $(dF(y)/dy)|_{y=0} < 0$, $(dF(y)/dy)|_{y=1} > 0$, $y = 0$ 为 ESS 点。

(2) 当 $x > x_0$ 时, $(dF(y)/dy)|_{y=1} < 0$, $(dF(y)/dy)|_{y=0} > 0$, $y = 1$ 为 ESS 点。

据此得出的医疗科技企业动态演化图(见图3)中,阴影部分将博弈空间切分为c和d两部分。初始嵌入意愿处于d空间的企业,演化博弈均衡点为 $y = 1$,表明企业倾向于传递协作关系以嵌入转化医学研究网络。若企业初始状态位于d空间,演化均衡点为 $y = 0$,不嵌入网络是其倾向做出的决策。

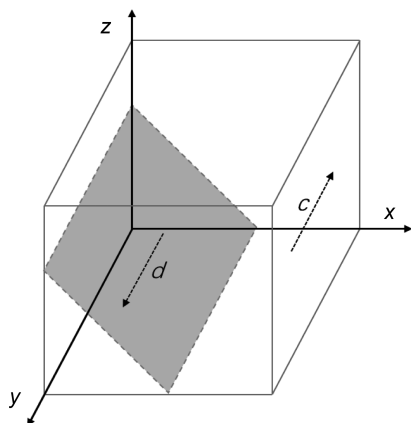


图3 医疗科技企业传递协作网络的动态演化

3. 政府部门的演化博弈均衡

政府部门策略的两类期望收益分别是支持嵌入的 U_{G1} ,不支持的收益 U_{G2} ,以及平均期望收益 $\bar{U}_G$ 。表达式如下:

$$U_{G1} = xy(R_3 - C_3 - \beta C_1 - A_1 - A_2) + x(1 - y)(R_3 - C_3 - \beta C_1 - A_1) + (1 - x)y(R_3 - C_3 - A_2) + (1 - x)(1 - y)(R_3 - C_3)$$

$$U_{G2} = xy\eta R_3 + x(1 - y)\eta R_3 + (1 - x)y\eta R_3 + (1 - x)(1 - y)\eta R_3$$

$$\bar{U}_G = z U_{G1} + (1 - z) U_{G2}$$

计算出政府策略的复制动态方程: $F(z) = dz/dt = z(U_{G1} - \bar{U}_G) = z(1 - z)[(1 - \eta)R_3 - x(\beta C_1 + A_1) - yA_2 - C_3]$,令 $y_0 = [(1 - \eta)R_3 - x(\beta C_1 + A_1) - C_3]/A_2$ 。

其一,当 $y = y_0$ 时, $F(z) = 0$,政府支持多方主体嵌入转化医学研究网络的意向不会随时间而变化,即始终保持最初的状态。

其二,当 $y \neq y_0$ 时,可令 $F(z) = 0$,求解得到两个演化博弈均衡点,即 $z = 0$ 与 $z = 1$,对 $F(z)$ 求导可得: $dF(z)/dz = (1 - 2z)[(1 - \eta)R_3 - x(\beta C_1 + A_1) - yA_2 - C_3]$,比较 y 与 y_0 的大小后得出以下两种情况。

(1) 当 $y < y_0$ 时, $(dF(z)/dz)|_{z=0} < 0$, $(dF(z)/dz)|_{z=1} > 0$, $z = 0$ 为ESS点。

(2) 当 $y > y_0$ 时, $(dF(z)/dz)|_{z=1} < 0$, $(dF(z)/dz)|_{z=0} > 0$, $z = 1$ 为ESS点。

政府动态演化图(见图4)中的阴影将博弈空间划分为e和f两部分。当政府选择策略的初始意向位于e空间时,博弈均衡点(ESS)为 $z = 1$,政府将通过支持其他主体嵌入网络来促进转化医学协同发展。f部分的博弈均衡为 $z = 0$,一旦政府支持嵌入的初始意向特别低,多次博弈后各方也很难形成协作网络。

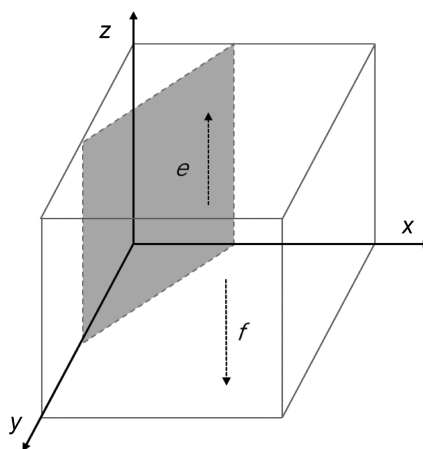


图4 政府支持嵌入行动的动态演化

4. 演化稳定策略与转化医学中心建设路径

研究型医院、医疗科技企业通过知识共享、平台共建、人员流动等嵌入医学创新转化网络,需从整体出发进行综合性均衡分析。结合三方主体的复制动态方程和动态演化博弈图,可总结出演化稳定策略(见表2)。

表2 演化稳定策略分析

空间	e		f	
	c	d	c	d
a	$M_1(1,1,1)$	$M_2(1,0,1)$	$M_3(1,1,0)$	$M_4(1,0,0)$
b	$M_5(0,1,1)$	$M_6(0,0,1)$	$M_7(0,1,0)$	$M_8(0,0,0)$

注:策略行为参考分布为(研究型医院,医疗科技企业,政府)。

基于动态演化博弈结果,本文总结出3种演化稳定策略,也与现实中的转化医学中心建设路径情况相近。其一为 M_1 ,三方主体均选择积极行动策略。政府支持对多方共同参与转化医学研究发挥重要引导作用,研究型医院与医疗科技企业都选择共享专业知识和协作关系,以嵌入转化医学中心的知识网络,表现为资源集聚型研究模式,即

路径 1,如国家转化医学重大基础设施等。其二为 M_6 ,政府支持下仅有一方积极行动的政策牵引型模式,即路径 2,转化医学理念并未引导研究型医院与医疗科技企业嵌入知识网络,导致没有形成知识共享。其三为 M_8 ,三方均不参与的主体分散型模式,即路径 3,各方没有达成促进转化医学发展的共识。此外,还有值得关注的 M_3 ,作为局部稳定策略,形成了市场导向下研究型医院与医疗科技企业的自发连结,政府没有提供强有力的引导,但二者开展紧密合作,形成生态自组织型的建设路径,即路径 4,如市场互动密切的转化医学研究多中心协作,有利于形成自我演化的创新生态。

获得长期性的嵌入收益,是研究型医院利用知识资本与协作关系以组织共建转化医学研究网络的核心目的。 ΔR_1 与 ΔR_2 作为研究型医院与医疗科技企业选择积极行动时产生的直接收益,并不会影响三方博弈的演化稳定策略,这表明单次分享知识资本产生的短期直接利益,如转让医学专利、开展临床验证试验等,不会激励研究型医院或医疗科技企业嵌入医学研究网络。共建转化医学中心需要与各主体长远发展目标紧密相关,实现关系嵌入到结构嵌入,消解研究型医院与医疗企业的协作壁垒。

三、转化医学研究网络嵌入博弈的仿真分析

为探究初始意向、政府引导、生态自组织约束对系统演化的影响,笔者先后于 2021 年 11 月—2022 年 7 月在 B 医院与 S 医学中心,2023 年 11 月—2024 年 5 月在北京 X 医院开展参与式观察,通过访谈医院战略管理专家、医院和医学中心管理人员,结合各主体策略的行动举措和损益关系,参考已有文献资料,设置初始参数如表 3 所示,并开展仿真分析。

一是成本类参数,相较于临床科研能力突出的医院,深圳研究型医院的医学沉淀有待提升,但具备研究型医院与医疗科技企业强化合作的市场优势。结合医院与企业代表对协作资源投入、试验平台建设、人力分配等要素的访谈估算,成本设定为 200 与 150 的相对值,用以反映其在知识共享与协作传递中的典型投入强度。二是收益类参数,B 医院积极创建深圳高水平临床研究平台,提高研究水平,依托 S 中心开展外部合作,搭建公共技术服务平台、医学研究创新平台和成果转化创

新平台。参考当前国家级转化医学平台的绩效指标与成果转化案例。如临床试验成功转化所带来的应用收益、声誉收益及协同机会,将其归纳为隐性激励与合作受益项,设为 80,以体现平台协同的长期价值属性;政府支持带来的系统绩效回报则设为 300,代表其对公共健康、技术进步等多维回馈的预期估值。三是激励与惩罚项,依据 2020 年以来国家及地方在转化医学方向的支持政策、补贴项目与平台管理机制设定。如奖励参数 60 和 20 分别代表政府对医院与企业在共建协作网络中的激励引导及其差异;生态自组织惩罚设为 80,用于反映在开放协作环境中,参与主体因机会主义行为而失去网络信任与协同资源的代价。四是行为选择概率项,则通过对访谈对象的情境模拟提问,结合博弈模拟对初始概率的敏感性分析,设定为 0.5 或依据仿真需要分步调整。以上参数可根据研究假设加以调整,用以模拟不同意向水平下的演化路径变化。

表 3 演化博弈模型参数赋值

参数	内容	赋值	参数	内容	赋值
β	政府对研究型医院嵌入成本的补贴系数	0.2	η	政府不支持嵌入占支持嵌入获得收益的比例	0.5
C_1	研究型医院嵌入知识网络的投入	200	C_2	医疗科技企业嵌入网络的投入	150
C_3	政府支持嵌入行动产生的监管成本	30	R_3	政府支持嵌入形成转化医学生态的总收益	300
ΔK_1	研究型医院凭借网络嵌入获得的隐形激励	80	ΔK_2	医疗科技企业嵌入知识网络产生的获益	80
ΔE_1	创新生态对机会主义研究型医院的惩罚	80	ΔE_2	创新生态对机会主义医疗科技企业的惩罚	80
A_1	政府支持时对研究型医院嵌入网络的奖励	60	A_2	政府支持时对医疗科技企业嵌入网络的奖励	20

(一)三方主体初始稳定策略

假定其他参数不变,调整研究型医院、医疗科技企业与政府部门的初始意向 x 、 y 、 z 。三方主体分别按 0.2 个步长,积极决策的概率从 0 变化至 1。MATLAB 演化博弈仿真结果如图 5 所示。

在参数一定时,研究型医院、医疗科技企业和政府的演化稳定策略(ESS)主要有 3 个,分别是 (1,1,1)、(0,0,0) 和 (0,0,1)。第一个稳定策略表明,研究型医院积极分享知识网络 and 平台资源,医疗科技企业主动传递协作关系和转化渠道,以嵌入转化医学创新网络,且政府部门大力支持,促

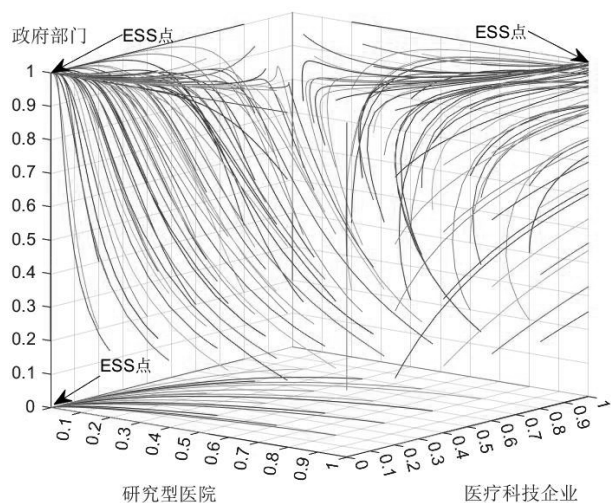


图5 系统演化三维相位

进转化医学中心共建,即资源集聚型的转化医学中心模式。第二个稳定策略表明三方没有形成稳定协作,即主体分散,未集中进行转化医学研究。第三个策略说明假使政府提供支持,但研究型医

院与医疗科技企业没有达成对嵌入转化医学研究的共识,知识网络和协作网络没有有效衔接,稳定的转化医学中心共建状态无法形成,即单一的政策引导型模式。以上三者中,资源集聚型模式的发生概率高于政策引导型模式,高于主体分散型模式。

(二)初始策略对系统演化的影响

如果研究型医院嵌入意向较弱,分别调整另外两方策略概率(见图6)。仿真发现:一方面,政府支持无法代替医疗科技企业嵌入创新网络的积极性,医疗科技企业的协作网络更容易帮助医院通过关系嵌入实现结构嵌入,双方达成合作后,仅需政府的少量参与或支持便能完成协同研究,形成转化医学创新生态;另一方面,为应对研究型医院的消极态度,医疗科技企业与政府部门提高积极策略意向,研究型医院会受到影响,转而积极嵌入研究网络,在一定概率下达到三方参与的稳定均衡状态。

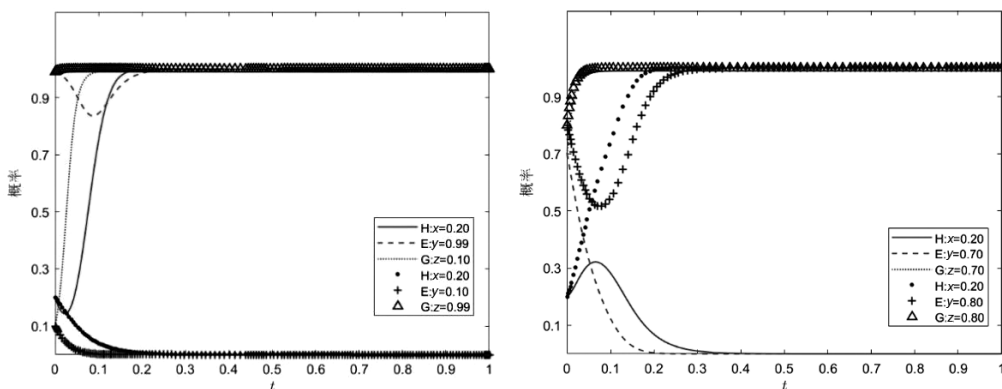


图6 研究型医院较低的共享意向对演化稳定的影响

当研究型医院与医疗科技企业保持中性态度时,提高政府支持概率(见图7)。仿真发现政府支持态度的积极与否会显著影响其他主体的行动,直到 $z = 0.70$,研究型医院嵌入研究网络,分享知识

资本的意愿才上升;期间医疗科技企业传递协作网络的意愿起初有下降趋势,但随着医院的知识共享,其传递概率逐步提升,三方演化博弈实现共同参与的稳态均衡。

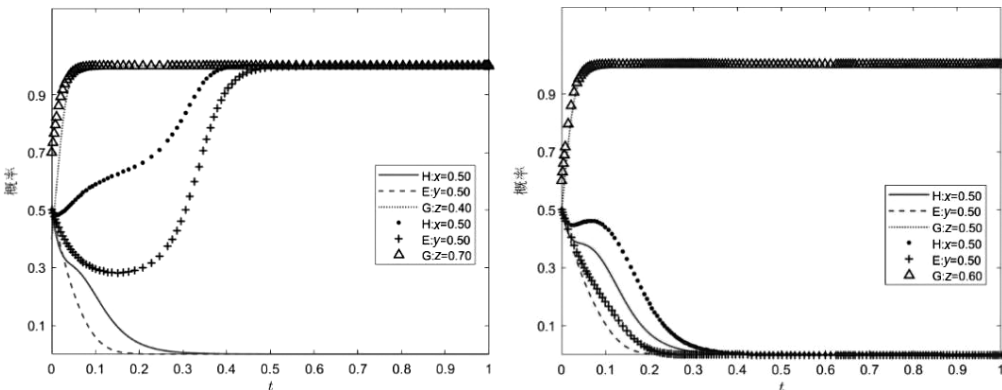


图7 政府部门支持意向上升对演化稳定的影响

当研究型医院和政府部门保持中性态度时,图 8 的仿真结果说明,医疗科技企业只有采取较高的积极策略概率,才能吸引研究型医院嵌入医学研究网络,到演化稳定共建转化医学中心。否则只有政府部门引导,研究型医院与医疗科技企业消极参与。三方曲线的交点将演化过程分为 3 个阶段,分别是政府引导期、研究型医院跟进与医疗科技企业短暂消极期和三方积极参与共建期。医疗科技企业传递意向先下降后上升,这先后受到政府部门与研究型医院的引领性影响。

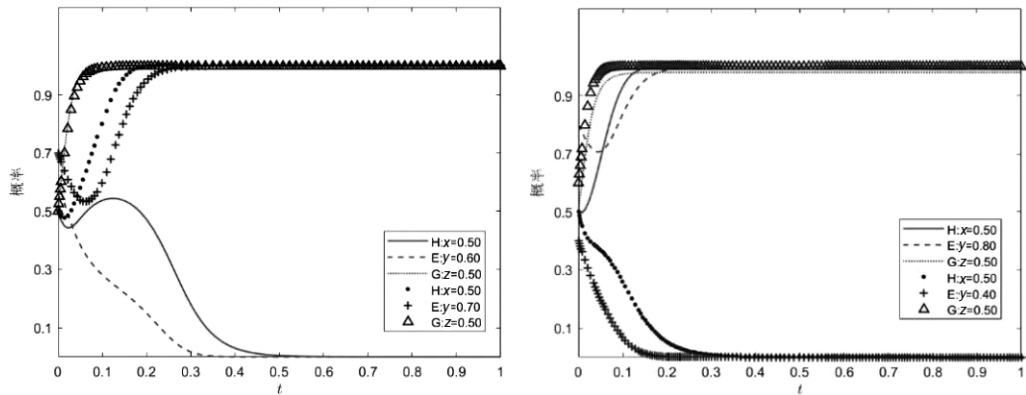


图 8 医疗科技企业积极传递意向对研究型医院嵌入生态的影响

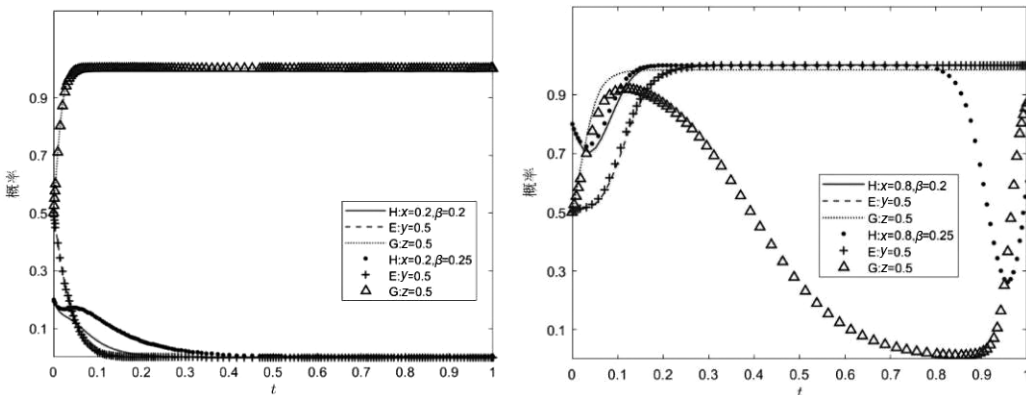


图 9 补贴系数提高对系统演化的影响

当三方积极策略概率都为 0.5 时,调整政府奖励参数。图 10 的仿真发现,如果奖励水平较低,研究型医院、医疗科技企业由于得到的政府资金支持有限,会逐渐倾向于选择消极策略而至均衡点(0,0,1)。政府奖励提升,研究型医院嵌入协作网络的策略得到支持,医疗科技企业也会响应,开始增强传递协作网络的力度,实现三方共同嵌入的演化均衡。

奖励增加的不同方式也会产生差异化影响。其一,对奖励 A_1 、 A_2 等量增加 5。当 A_1 、 A_2 小于等于

(三) 政府引导对系统演化的影响

政府会为嵌入医学创新网络的主体提供成本补贴,如资金奖励 A_1 、 A_2 。在医疗科技企业和政府部门保持中性态度时, $y = z = 0.5$ 。图 9 的仿真发现,对低共享意向的研究型医院而言,无论政府是否计划提高补贴系数,都会形成政府一方积极支持嵌入网络,而医疗科技企业不嵌入的均衡(0,0,1)。当研究型医院逐步提高嵌入意向至大于等于 0.5 时,政府补贴会发挥出显著的提升作用,使三方达成(1,1,1)的演化均衡。

60 与 20 时,稳定演化均衡状态不变;当二者达到 65 与 25 时,稳定演化均衡状态从(0,0,1)变化为(1,1,1)。其二,对 A_1 、 A_2 增加不同数值,发现当 $A_1 = 70$ 、 $A_2 = 25$ 时,政府依旧发挥显著的带动作用,但在一定时期后,研究型医院可与医疗科技企业等生态种群形成良好的生态群落,开展自发性的合作研究与成果转化,后期政府部门便可以逐步退出,选择多样化的监管和保障举措,形成生态自组织型的转化医学中心建设模式。

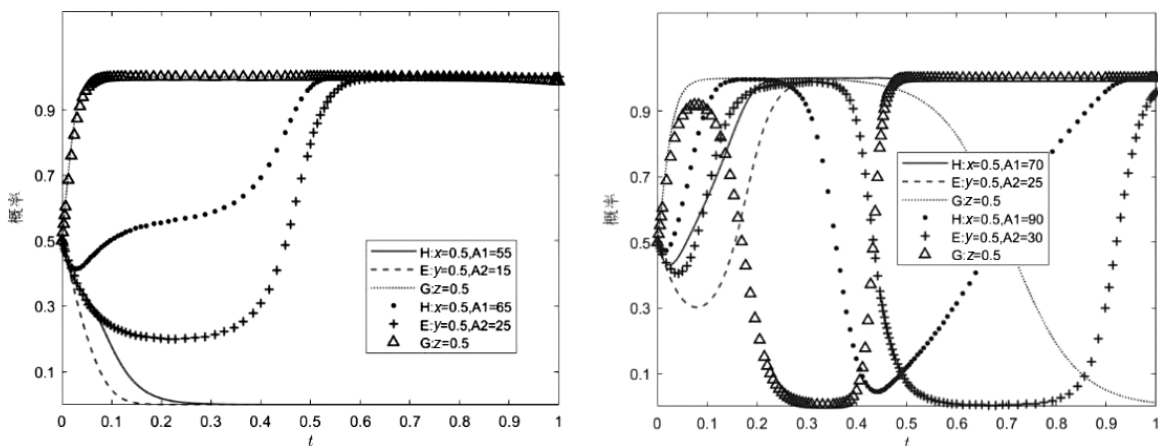


图10 调整政府奖励对系统演化的影响

(四)生态自组织约束对系统演化的影响

转化医学创新生态是自组织的协同系统,对机会主义行为具有惩罚约束作用。研究型医院选择嵌入研究协作网络,但对机会主义的惩罚过低,会导致医疗科技企业选择不嵌入。随着研究型医院提出更高的惩罚标准,如从 50 提高至 90(见图 11),三方更容易实现共同参与的演化稳定均衡。

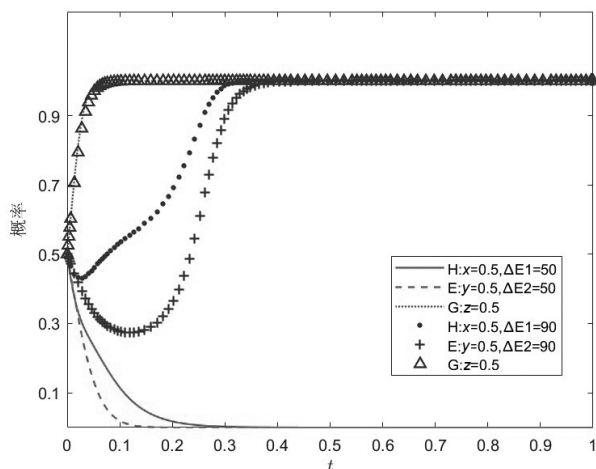


图11 生态自组织的惩罚约束提高对系统演化的影响

如果生态内的自组织体系对研究型医院和医疗科技企业分别赋予不同数量的惩罚(见图 12),无论何者更低,都不会形成稳定的合作状态,这是因为差异化惩罚往往给双方带来了不公平的认识,以及机会主义空间。一方受到惩罚更高时,往往会在更晚的时间点上采取不嵌入行为,如研究型医院面对 $\Delta E_1 = 90$ 的惩罚时,其演化曲线要比 $\Delta E_1 = 60$ 时的曲线更为靠后,医疗科技企业也是如此。

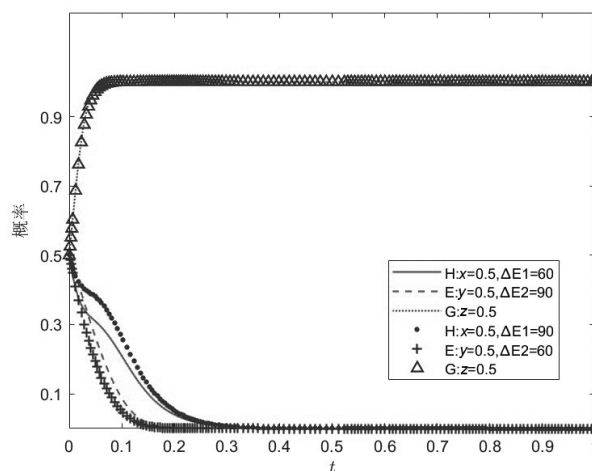


图12 差异化的生态自组织惩罚约束对系统演化的影响

四、结论与发展策略

(一)研究结论

本文研究发现,研究型医院是推动转化医学研究的关键主体,与医疗科技企业、政府部门、科研院所以及外部创新环境均有多重交互关系。在研究设定的模型和参数下,研究型医院、医疗科技企业嵌入创新网络,联合共建转化医学中心存在三类稳定结果,按出现概率由高到低分别为三方积极参与的资源集聚型,政府支持下的政策引导型,以及三方均不参与的主体分散型。国家支持下的资源集聚型多在医学创新研究的早期出现,体现了国家有组织研究引导开展关键技术突破的重要作用,典型代表就是国家转化医学中心。研究还发现一种医院与企业共同嵌入创新网络的生态自组织型,这个模式强调市场导向下的自发合作,研究型医院与医疗科技企业通过合同约束等方式依托转化医学中心开展研发合作,政府在前期支持后可逐步退出资金补贴。

仿真模拟显示,短期直接收益不会影响研究型医院和医疗科技企业的演化稳定策略。研究型医院和医疗科技企业选择嵌入转化医学研究网络,更倾向于获取长期收益,如网络化、协同化产生的平台合作价值,从而共建医学中心。医疗科技企业在嵌入初期积极传递协作网络,比政府支持更容易对共建转化医学中心发挥正向作用,这是因为协作网络更容易帮助各主体实现关系嵌入到结构嵌入的升级。面对研究型医院共享转化医学知识的消极态度,医疗科技企业与政府部门会通过表达积极合作意向,促使协同研发网络形成。政府补贴和奖励增加会显著提高研究型医院嵌入网络的积极性。转化医学创新生态系统基于自组织秩序,会对机会主义行为采取声誉和协作惩罚,约束参与主体的不道德行为,保障转化医学中心稳定发展,这也是政府部门逐步退出组织管理,转向创新生态治理的重要基础。

(二) 发展策略

转化医学创新生态的形成,既依赖于研究型医院与企业的结构嵌入,也需要政府在恰当时机激励与退出,以及生态内部的信任、声誉和协作秩序。本文据此提出策略建议,支持医学科技创新体系实现“有组织突破”和“自组织生长”。

其一,以协作网络为基础,提升研究型医院的结构嵌入能力。研究型医院的嵌入意愿依赖于对长期协同收益的预期,其知识生产能力虽强,但初期参与转化研究面临协作门槛。应以转化医学中心为载体,引导医院从知识节点转变定位为协作枢纽,具体应搭建以医生为主导的产学研联合团队,推动知识产权共创机制改革,建设开放但有边界的科研数据平台。同时,优化跨主体评价机制,将协同程度纳入医院科研考核体系,使其具有结构性参与激励。

其二,支持企业传递协作网络,实现从关系向结构的跃迁嵌入。医疗科技企业在博弈早期的协作网络传递行为具有放大效应,能显著带动医院参与生态共建。应支持企业在转化医学平台中发挥“关系中介”作用,通过建立“企业—医生—研究员”混编实验组,依托项目制激励企业共享网络资源,降低研发数据孤岛现象,鼓励企业牵头设立转

化医学开放基金,推动其向上游共享试验平台、向下游整合评估通道,形成多层级合作机制,从占据结构洞转型到结构嵌入。

其三,优化激励组合结构,推动政府治理由干预走向治理。仿真模拟揭示政府干预存在临界阈值特征,即在补贴不足时激励无效,补贴适度后则可实现演化跳跃,但长期干预反而抑制自组织效能。应考虑构建“前期激励—中期监管—后期退出”的政策支持梯度机制,前期通过项目补贴、设备共建、人员资助等措施引导医院与企业协同嵌入;中期重点设立科研伦理、数据共享、安全合规等标准规则;后期逐步退出财政投入,转向生态指标考核与平台化治理,形成可持续的制度嵌入路径。

其四,建立生态信用与声誉约束机制,防范机会主义。生态系统稳定性取决于内部约束对机会主义行为的惩罚强度与对称性。一旦约束失衡,即使政府激励充分也无法稳定生态结构。应在转化医学中心推动软法式的声誉管理机制,建立研究型医院和企业的协作履约档案系统,引入合作历史、平台评分、资源优先的生态信用系统;同时加强行业协会、第三方平台对协作失信行为的曝光机制,构建不道德就会失去网络合作机会的价值场,强化协作行为规范。

其五,激活生态边缘节点,培育分布式协同创新通路。现实中一些高效的转化医学实践并非来源于强中心平台,而是源自灵活多样的点对点协作网络,如地区性医院与特定专业企业的自发联结。未来的医学创新应关注“小主体”,特别是分布式、自组织式创新通路的制度培育,如设立“轻平台”或“微节点”,支持地区医疗机构与中小型企业特定技术或疾病领域开展小规模试验合作,并赋予这些边缘节点平台接入权,拓展生态多样性与弹性。

参考文献:

- [1] 中共中央办公厅、国务院办公厅. 关于进一步完善医疗卫生服务体系的意见[EB/OL]. (2023-03-23) [2024-05-20]. https://www.gov.cn/zhengce/2023-03/23/content_5748063.htm
- [2] 何振喜,周先志,姚军,等. 中国研究型医院建设指南[J]. 中国研究型医院,2021,8(5):7-11.
- [3] 陈竺. 转化医学及国家转化医学中心的建设[M]//戴尅戎. 转化医学理念、策略与实践. 西安:第四军医大学

出版社, 2012:3-9.

[4] AUSTIN C P. Translating translation[J]. Nature reviews drug discovery, 2018, 17(7): 455-456.

[5] SILVA P J, SCHAIBLEY V M, RAMOS K S. Academic medical centers as innovation ecosystems to address population-omics challenges in precision medicine[J]. Journal of translational medicine, 2018, 28(16): 1-12.

[6] 史璐璐, 江旭. 创新链: 基于过程性视角的整合性分析框架[J]. 科研管理, 2020, 41(6): 56-64.

[7] BURNS L, LE ROUX N, KALESIK-ORSZULAK R, et al. Real-world evidence for regulatory decision-making: updated guidance from around the world[J]. Frontiers in medicine, 2023, 10: 1236462.

[8] LEHOUX P, MILLER F A, DAUDELIN G. How does venture capital operate in medical innovation? [J]. BMJ innovations, 2016, 2(3): 111-117.

[9] 江飞涛, 陈强远, 王益敏, 等. 财政补贴与企业技术创新: 来自医疗医药行业文本分析的证据[J]. 经济管理, 2021, 43(12): 62-78.

[10] 《中国全科医学》编辑部. 全科医生小词典: 转化医学. 中国全科医学, 2016, 19(1): 105.

[11] 陈劲, 魏巍. 患者创新: 源起、理论内涵与实践[J]. 软科学, 2022, 36(12): 1-10.

[12] 李慧敏, 陈光. 论数据驱动创新与个人信息保护的冲突与平衡: 基于对日本医疗数据规制经验的考察[J]. 中国科学院院刊, 2020, 35(9): 1143-1151.

[13] 李鹏, 吴瑶, 彭华涛. 知识网络嵌入与国际创业企业成长关系研究[J]. 科学学研究, 2022, 40(8): 1441-1451.

[14] BURT R S. Structural holes: the social structure of competition[M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1992: 779-781.

[15] HITE J M. Patterns of multidimensionality among embedded network ties: a typology of relational embeddedness in emerging entrepreneurial firms[J]. Strategic organization, 2003, 1(1): 9-49.

[16] UZZI B. The sources and consequences of embeddedness for the economic performance of organizations: the network effect[J]. American sociological review, 1996, 61(4): 674-698.

[17] 魏江, 徐蕾. 知识网络双重嵌入、知识整合与集群企业创新能力[J]. 管理科学学报 2014, 17(2): 34-47.

[18] SAXENIAN A. Regional advantage: culture and competition in silicon valley and route 128[M]. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1996: 162-168.

[19] 董洁, 张素娟, 孟潇. 我国医疗器械产业创新生态系统演化研究[J]. 中国卫生事业管理, 2020, 37(11): 876-880.

[20] 庞兰心, 官建成. 政府财税政策对高新技术企业创新和增长的影响[J]. 科学学研究, 2018, 36(12): 2259-2269.

[21] PENG M W, HEATH P S. The growth of the firm in planned economies in transition: institutions, organizations, and strategic choice[J]. Academy of management review, 1996, 21(2): 492-528.

[22] 卢艳秋, 廖爱红. 基于三方演化博弈的新创科技型企业集群网络嵌入机制研究[J]. 中国管理科学, 2022, 30(2): 276-286.

[23] TEECE D J. Explicating dynamic capabilities: the nature and micro foundations of sustainable enterprise performance[J]. Strategic management journal, 2007, 28(13): 1319-1350.

[24] SHANE S, CABLE D. Network ties, reputation, and the financing of new ventures[J]. Management science, 2002, 48(3): 364-381.

[25] 金春林, 康琦, 朱碧帆, 等. 中国研究型医院的内涵和建设策略[J]. 卫生经济研究, 2024, 41(1): 32-35.

[26] 王巍, 李德鸿, 侯天雨, 等. 多重网络视角下突破性技术创新的研究述评与展望[J]. 科学学与科学技术管理, 2022, 43(10): 83-102.

[27] 孙文浩, 张杰. 减税有利于何种高新技术企业创新: 基于人才结构的视角[J]. 财政研究, 2021(8): 107-120.

[28] 李玲, 葛春雷. 转化医学的科研组织模式研究: 以德国为例[J]. 科研管理, 2022, 43(8): 129-139.

[29] 彭华涛, 杨星, 崔伟. 国际创业企业动态能力研究: 基于知识网络嵌入的视角[J]. 江汉论坛, 2023(9): 14-21.

[30] 戚鑫, 朱姝. 产学研金协同创新体系建设博弈分析[J]. 科技进步与对策, 2018, 35(14): 30-35.

[31] 吴丰, 徐顽强. 政府主导型校地共建新型研发机构市场化转型演化研究: 基于资源依赖视角[J]. 科技进步与对策, 2024, 41(1): 1-12.

[32] 王莉静, 潘美兰. 制造业企业合作创新知识共享策略研究[J]. 科技进步与对策, 2020, 37(10): 128-135.

(本文责编: 润 泽)