



社会网络分析在团队运动表现中的应用:研究综述 The Application of Social Network Analysis in Team Sports Performance: A Review

张岩*,杨改生

ZHANG Yan*, YANG Gaisheng

摘要: 描述和评价了社会网络分析在团队运动表现中的应用情况。研究采用引文追溯法对文献进行检索,共进行5轮,检索引文3 698篇,最终有74篇文献纳入研究。研究显示,社会网络分析在团队运动表现中的应用是一个新兴现象,相关研究呈现出快速发展的趋势。在已有的实证研究中,将团队运动中的互动行为概念化为一个网络,并从宏观、中观和微观的视角分别概述了网络结构对认识团队运动互动行为的有用见解,验证了社会网络分析在足球等8个不同团队运动中应用的可行性。社会网络分析作为传统运动标注分析的补充被证明是一种有效的研究工具,改变了原有方法将比赛事件从比赛环境中独立出来的研究范式。在对球员互动结构静态属性分析的基础上,未来研究应进一步深入讨论这种互动结构的动态属性,以及多重网络对团队表现的影响。

关键词: 社会网络分析;团队运动;运动表现

Abstract: The main purpose of the research is to describe and evaluate the application of social network analysis in team performance. The research used the citation trace method to search the literature for 5 rounds and retrieved 3 698 citations. Finally, 74 articles were included in the research. The results show that the application of social network analysis in team sports performance is an emerging phenomenon, and related research shows a trend of rapid development. In the existing empirical research, the researchers conceptualize the interaction behavior in team sports into a network and summarized the useful views of network structure on understanding the interactive behavior of team sports from the macro, meso and micro perspectives respectively, which verified the feasibility of applying social network analysis in eight different team sports, such as football. As a supplement to the traditional sport notational analysis, social network analysis has proved to be an effective research tool, changing the research paradigm of the previous methods to separate the game events from the competitive environment. Based on the analysis of the static attributes of the player interaction structure, future research will further discuss the dynamic attributes of this interaction structure and the impact of multiplex networks on team performance.

Keywords: *social network analysis; team sports; sports performance*

中图分类号:G80-05 **文献标识码:**A

基金项目:

河南省软科学研究项目(21240010387)

*通信作者简介:

张岩(1985-),男,在读博士研究生,主要研究方向为排球运动表现分析,E-mail:sincere1985@163.com.

作者单位:

河南大学,河南 开封 475001
Henan University, Kaifeng 475001, China.

有关于团队运动结构的研究认为,一个团队不仅仅是单个球员的简单叠加,也意味着一种关系的结构,这种结构包含于团队概念本身(Gould et al., 1979)。这一观点逐渐成为后期研究的共识(杨尚剑, 2014; 张庆春等, 2005; Abbott, 1997; Duch et al., 2010; McGarry, 2009)。团队运动由于其系统的复杂性,一直以来都是运动表现分析领域关注的重点。复杂性是一个多维的概念,比赛也不例外。这使得在分析团队运动表现的过程中,研究者需要面对不同维度的复杂性问题(李益群等, 1999; 刘建和, 1997), 这些问题共同构成了团队运动表现分析研究的思考空间,并推动着研究者对不同团队运动进行探索。随着研究的进展,一些研究将团队运动视为自组织现象(Araújo et al., 2006; Passos et al., 2006),认为团队的表现依赖于球员的互动方式。然而,对于这一问题的探

索研究者总是面临着许多挑战,其中之一就是传统研究中存在的个人主义方法论和整体主义方法论的对立(约翰·斯科特,2016)。对于团队运动中球员互动的研究,运动标注分析也存在这样的局限,由于其将比赛事件从比赛系统中分离出来,忽视了球队作为一个系统的整体性,割裂了比赛行为之间的联系(Passos et al., 2011),难以应付不同空间和时间尺度上球员个体之间出现的复杂的交互行为,对于这一问题的解释存在不足(Balague et al., 2013; Sarmiento et al., 2014)。因此,团队运动表现分析还需要考虑新的理论与研究框架,来支持研究团队表现所依赖的整体结构和动态特征。正是在这样的需求下,社会网络分析(social network analysis)逐渐进入团队运动表现研究的过程中,用以提升球员互动行为与团队表现关系的研究。

20世纪90年代以来,社会网络分析在世界范围内得到了快速的发展,被广泛应用于几乎所有的人类活动领域(林聚任,2009)。其作为研究一组行动者关系的方法,特别强调在不同互动背景下行动者之间的关系结构(戴维·诺克,2017),是一种结构主义视角下的量化分析(刘军,2014)。社会网络分析研究了从整体到部分,从系统结构到个人关系,从行为到表现的互动模式(Wellman et al., 2000),弥合了微观和宏观分析水平之间的差距。在团队运动表现的研究中,由于社会网络分析对“结构-关系”研究的独特重心,完善了运动标注分析将比赛事件独立出来的研究范式,为比赛过程中球员互动关系的分析提供了可能。

Moreno (1934)在 *Who Shall Survive?: A New Approach to the Problem of Human Interrelations* 一书中提出了学校橄榄球队的社交图。案例表明,团队运动本身就是社会网络分析的一个潜在应用领域(Wäsche et al., 2017)。团队运动中有限的参与者和明确的规则限制(Araújo et al., 2006),为运动员之间互动特征的研究提供了机会。由于这个特点,团队运动可以被概念化为一个由运动员为节点,运动员之间的相互联系为边的网络结构。在这个网络结构中,团队成员的交互行为可以用节点与节点之间的相互联系与演变来表征,并通过对网络不同属性的分析来解释研究的问题。近年,社会网络分析开始被全球更多的学者用以研究团队运动中球员互动与团队表现的关系,研究对象涉及足球、排球、板球、篮球等多个运动项目,研究领域涉及体育、数学、管理、计算机和统计学等多个学科。

本研究的主要目标是对应用社会网络分析研究团队运动表现的国内外文献进行综述,通过对纳入文献在宏观知识结构与微观具体案例的研究,讨论社会网络分析在不同团队运动表现中的研究现状、应用价值和未来的研究空间。

1 研究方法

1.1 筛选标准

符合以下全部标准的文献,则纳入研究:1)研究对象为团队运动(足球、篮球、排球、橄榄球、手球、板球、曲棍球、冰球、水球和棒球等);2)研究方法为社会网络分析;3)研究以分析球员互动与团队运动表现为目标;4)研究以比赛过程中的数据为主;5)研究需明确节点与边的界定。

1.2 文献检索

文献检索主要采用两种策略:1)外文文献采用引文追溯法检索;2)中文文献通过中国知网进行检索。全部文献数据导入Endnote X8进行统一管理。

外文文献检索。通过Google学术和百度学术,以“包含全部检索词‘network’ and 包含至少一个检索词‘team sports, match analysis, football, soccer, volleyball, basketball, cricket, hockey, water polo, handball’”的检索策略确定了2016—2018年的相关文献32篇,以32篇研究为初始文献,对其全部引文进行逐轮筛选,直到不再出现新文献为止(表1)。最终,外文文献检索共进行了5轮(第5轮为对部分零被引文献的查缺纳入),筛选引文3 698篇(包括重复文献),初步纳入同时符合筛选标准1)和2)的文献112篇。

表1 外文文献引文追溯检索信息

Table 1 List of Retrieval Information of Foreign Literature

检索 轮次	起始 文献	Citation Trace					
		引文数	去重	排除	初步 纳入	纳入 去重	最终 纳入
第1轮	32	1 223	343	829	51	6	45
第2轮	45	1 387	329	1 019	39	18	21
第3轮	21	556	29	507	20	15	5
第4轮	5	223	3	213	7	7	0
第5轮	9	309	59	227	23	23	0

中文文献检索。通过中国知网,在文献分类目录下选择体育,以“TI=‘社会网络’”为检索策略,初步纳入同时符合筛选标准1)和2)的文献5篇,其中1篇文献与外文纳入文献相同。

1.3 文献筛选与纳入

对初步纳入的111篇外文文献和5篇中文文献进行全文整理。全文来源主要包括以下5个途径:百度学术、Google学术、ResearchGate、数据库(CNKI、Sport Discus、KCI、CiNi)和E-mail联系作者直接索取。最终,116篇文献中有6篇外文文献未能查找到全文。阅读检索到的文献全文,根据筛选标准对文献进行筛选与纳入,110篇全文文献最终有74篇纳入研究,排除文献36篇。

2 研究结果

2.1 检索结果的文献计量学分析

在纳入研究的74篇文献中,最早的文献出现于

2007 年,从 2015 年开始呈现出快速增长的发展趋势,随后 4 年文献数量占总纳入文献的 68.92%。74 篇文献来自于 15 个国家和地区,我国于 2017 年出现第一篇相关研究。除去 5 篇综述文献外,69 篇文献共涉及团队运动 8 项,分别为足球、排球、板球、篮球、橄榄球、水球、冰球和手球。

2.1.1 高被引文献分析

纳入文献中,被引次数大于 40 次以上的文献共有 11 篇,占纳入文献的 14.86%,总共被引 1 225 次,占总被引次数的 69.32%。11 篇高被引文献的年度被引数据呈现出持续增长的趋势,并表现出一个快速积累的特征,体现了相关研究的活跃程度。

通过对 11 篇高被引文献的期刊、作者机构和作者合作进行分析,可以看出社会网络分析在团队运动表现研究中的应用具有多学科交叉的特点,这正符合运动表现分析汇集多个交叉学科理论知识的现实。在期刊的分布上,体育类期刊文献有 6 篇,非体育类期刊文献有 5 篇。在作者机构分布上,11 篇文献的 42 位作者分别来自世界不同地区的 28 个机构,其中体育类机构 6 个,非体育类机构涉及化学与生物工程、复杂系统科学、计算机科学与数学、数学科学、医学、心理学、人类学、应用物理学、统计学、教育学、生命科学和社会动力学等。从作者之间的合作来看,11 篇高被引文献同样表现出不同学科的交叉,合作作者具备不同的学科背景。

2.1.2 关键词共现分析

关键词共现网络中,“Social Network Analysis”“Football”“Match Analysis”“Soccer”“Network”“Graph Theory”“Network Analysis”“Performance analysis”“Performance”和“Team Sports”为关键节点。整个关键词共现网络形成了初步的结构特征,表现出以研究方法为重要节点的网络结构。“Social Network Analysis”“Match Analysis”和“Football(Soccer)”节点间的共现关系最为密切,这样的结构关系反映出当前社会网络分析在团队运动中应用的两个基本特征:1)以足球运动为主要研究对象;2)以分析研究对象的比赛表现为主要研究内容。关键词共现结构的背后,体现了目前研究的基本现状,即在解决运动标注分析本身局限的基础上,验证社会网络分析在解释团队运动中球员互动问题的可行性,并通过实证研究讨论不同空间和时间尺度上球员个体之间出现的复杂交互行为。

2.1.3 作者共现分析

整个作者共现网络中,形成了大小不等的网络结构 27 个,不同结构之间相互分离。作者共现网络的结构特征表现了当前研究处于发展初期的基本情况,不同国家和地区的学者对于社会网络分析在团队运动表现研究中的应用还处于早期探索阶段。在 27 个网络结构中,最大的网络结构由 34 个节点组成,这 34 名作者形成了目前研究中最大的作者合作网络。葡萄牙学者 Filipe Manuel Clemente、Fernando Manuel Lourenço Martins 和 Rui Sousa

Mendes 为网络中的核心节点,形成了稳定的作者合作关系,同时涉及巴西、希腊、中国香港、英国和澳大利亚等国家和地区的学者。2014 年, Filipe Manuel Clemente 与 Micael Santos Couceiro 和 Antonio Figueired 首次合作,并由 Micael Santos Couceiro 和 Antonio Figueired 连接到另一个以 José Gama 为核心节点的作者合作网络中。作者合作关系的逐渐延伸,表征了整个研究的扩展,并显示出未来发展的趋势。

2.2 社会网络分析在不同团队运动中的应用

2.2.1 足球

2004 年,西班牙学者 José Luis Molina González 和 Juan Julián Merelo Cuervos 在网上发起了一个名为“Redes contra Redes”的体育预测游戏,以欧洲足球锦标赛为分析对象,在提供射门、控球、角球等传统统计数据的基础上,提供了队员相互传球的网络数据。自 2007 年以来,已经有 54 篇相关文献,并且研究呈现逐年增长的趋势。

在以往的研究中,研究者认为足球运动是一个动态系统,在这个系统中两支球队的队员围绕同一个有限空间进行传球(Gréhaigne et al., 1997; McGarry et al., 2002),每支球队都试图抢断、控制并将球移向得分区进球(Gréhaigne et al., 1995; Grund, 2012)。这一过程中,球队需要在一切可行的情况下尽可能高效地解决一系列不可预测的问题,而这些问题随时发生在比赛的任何进攻或防守阶段(Metzler, 1987)。从这个意义上,足球比赛的过程蕴含着有序与无序,静态与动态,统一与多样连续交替的特点,而球员之间互动行为的不同也导致了团队内和团队间的表现差异(Garganta, 2001)。从网络分析的角度来看,足球比赛的这种互动行为可以被概念化为一个由球员为节点,传球为边的网络。在这一网络中,包括了足球比赛中两种最基本的互动模式:团队内的合作和团队间的对抗。

足球运动员之间的相互作用产生了协同效应,运动员往往会根据其他队员的行为来调整自己的行为以适应整体目标(Fajen et al., 2009)。由于协同效应的存在,球队可以被看作是一个自组织系统,其属性不是各个球员行为的简单叠加,而是在相互作用过程中产生新的特征。社会网络分析在足球运动表现中的应用,使得球员之间的互动概念能够被进一步的操作化。Bundio 等(2007)和 김혜진(2007)分别在研究中讨论了社会网络分析在足球比赛中应用的可能性,提出了将团队内球员互动行为概念化为一个网络的基本思路(图 1)。通过分析网络结构的基本属性,为研究球员互动与团队表现之间的关系提供了新的研究空间。对于一支球队来说,球员之间的各种传球并非是一种随机行为,受到球队风格、战术体系、比赛目标等多方面因素的影响,从而表现出一种特有的组织性,即一个团队中的某些球员承担了更为重要的角色。2010 年, Yamamoto(2009)研究了足球运动中传球行

为的无标度属性,利用社会网络分析证明了这种团队的组织特性。

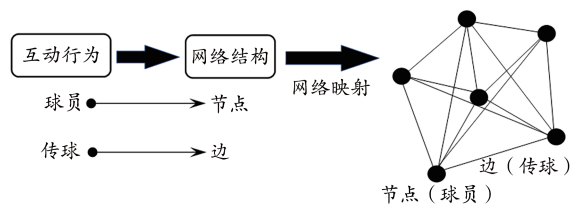


图1 足球比赛中团队互动行为的操作化

Figure 1. Operationalization of Team Interaction Behavior in Football Match

“集中-表现”假说和“密度-表现”假说是研究球员互动与团队表现关系的两个主要假设。在现有的研究中,这两个假设仅在足球运动中被验证(Park et al., 2010)。“集中-表现”假说认为,在足球比赛过程中,如果球员之间的互动过于集中于某一个球员,将对球队的整体表现产生负面的影响。“密度-表现”假说认为,在足球比赛过程中,如果球员之间的互动更为密切,将对球队的整体表现产生正面的影响。然而,Cotta等(2011)对这样的假设提出了质疑,认为足球比赛中球员的互动存在明显的位置特征,社会网络分析虽然能够对球队互动的静态结构进行很好的定性描述,但却无法表征比赛过程中的时间和空间信息。随着足球比赛的时空信息被带入到社会网络分析中,研究开始讨论球员互动的动态特征,并在此基础上逐渐形成了微观、中观和宏观的分析视角(Clemente et al., 2014; Yamamoto et al., 2011)。

Pina等(2017)认为,社交网络分析能够验证足球运动员之间的互动特征,尤其是表征队友之间的传球行为,这种方法为研究合作关系的复杂性提供了新见解。但足球比赛中的团队表现不仅取决于队友之间的合作,也取决于与对手的对抗(Juan et al., 2017)。球队之间的对抗迫使团队改变其合作模式(Mclean, 2018),以最大限度地提高团队的表现,而各类约束条件的缺失使得研究结论在解释现实行为的过程中存在一定的局限。对手表现、比赛阶段、传球难度和跑动距离等一系列情景变量逐渐被纳入社会网络分析的研究范围,推进探索球员互动与团队表现的内在关系(McHale et al., 2018)。

2.2.2 排球

2015年,Clemente等(2015)在分析了足球比赛中球员互动与团队表现后,将研究对象更改为排球运动。此后,共出现相关文献4篇,且全部集中于葡萄牙学者。

2015年,排球相关研究文献结合之前足球运动研究的成果,分析不同竞技水平和不同位置上球员的中心性差异。2016年和2017年,葡萄牙波尔图大学体育学院作为排球运动表现领域研究的主要团队(郭仁红等,2017;

张欣等,2017),连续发表了3篇有关社会网络分析在排球运动中应用的文献。3篇文献对排球比赛行为之间的互动关系进行了研究,分别讨论了男排和女排在发球、一攻、防反、保攻和推攻等比赛阶段中的比赛行为之间的互动关系。其中,网络映射以不同比赛阶段的行为为节点,以球在不同行为之间的传递为边。研究认为,在高水平女子排球比赛中,提高球队处理突发情况的能力与方法至关重要,这种改变为球队提供了面对不同比赛环境的多样性选择,并由于这种多样性给对手带来更多的不确定性,因此成功的机会更高(Hurst et al., 2016, 2017)。在高水平男排比赛中,不同比赛阶段呈现出不同的行为特征,训练应结合这些特征有针对性地进行(Loureiro et al., 2017)。

2.2.3 板球

社会网络分析在板球运动中的应用出现在2013年,目前共有相关文献4篇。板球作为一项团队运动,在英联邦国家中具有重要的地位。板球比赛的基础是球员在击球与面对击球时一系列行为的互动。近年来,对于板球运动的研究兴趣不断增长(Allsopp et al., 2004; Scarf et al., 2011),但这些研究并没有关注不同球队所采用的比赛策略和比赛阵容。因此,Mukherjee(2013, 2014)希望通过社会网络分析提供一个量化个人在比赛中整体表现的方法,其确定了不同球队的比赛模式,并认为击球过程中的核心球员对球队和对手的表现来说都至关重要。此外,研究还发现在比赛过程中,具有高击球率的球员不一定是具有最高中心性的球员,球队在此基础上表现出合作或者依赖的特征。Dey等(2017)基于T-20板球比赛中不同球队形成的球员互动网络,应用中介中心性、接近中心性、节点度分布和聚类系数4个指标评估了球员的表现,并在此基础上讨论了球员互动对团队表现的重要作用。

2.2.4 篮球

社会网络分析在篮球运动中的应用出现在2012年,目前共有相关文献2篇。Fewell等(2012)研究认为,团队是以相互协同的方式共同合作,以实现其共同目标(赢得比赛)。Fewell等(2012)将球员作为节点,球员之间的传球作为边,试图通过社会网络分析评估篮球运动在团队进攻战略上的差异。此外,研究在分析球队网络结构变化的过程中,发现了球队潜在的两种进攻策略:1)通过互动将球转移至最佳投手;2)分散进攻分配,降低投篮的可预测性。Clemente等(2015)不仅分析了排球运动中不同竞技水平和战术位置之间网络中心性水平的差异,并且以同样的研究目的分析了篮球运动中的情况,认为社会网络分析是识别篮球比赛中互动模式的有用方法。

2.2.5 橄榄球

2013年,社会网络分析应用于橄榄球运动,目前共有2篇文献。橄榄球运动虽然与其他同场对抗类项目在参

赛人数和竞赛规则上存在较大差异,但其核心都是通过球员之间的互动以达到得分的最终目标。在这一动态过程中,球员之间通过一系列的竞赛行为而达到彼此的合作,并以合作产生的团队行为与对手在进攻与防守中进行对抗(Nevill et al., 2002)。Sargent 等(2013)和 Bedford 等(2013)分析了澳式橄榄球比赛中球员互动对球队表现的贡献。研究同样是以球员为节点,以球员间的传球为边,通过建立团队互动的临近矩阵形成网络映射,认为团队中心性测量对团队表现具有较好的预测效果(Sargent et al., 2013)。Sasaki 等(2017)以球员位置为节点,以球员间的合作为边,在节点的设置上增加了 Scrum 和 Lineout 两种比赛中常见的争球情况,研究了橄榄球比赛(英式橄榄球)中球员防守过程中的合作网络,将社会网络分析的视角从进攻环节转向防守环节。

2.2.6 水球

继足球运动后,社会网络分析被应用于研究水球运动,但相关研究的发展并未得到持续,目前相关研究仅纳入 1 篇文献。Passos 等(2011)以水球比赛为案例探索社会网络分析作为一种新型工具是如何解决球员互动与团队表现之间关系的。

在当时的研究背景下,研究者使用社会网络分析的方法讨论了水球比赛过程中进攻阶段球队内的互动模式,并提出了两个基本问题:1)如何测量队友之间的互动次数;2)互动次数之间存在什么关系,以及成功团队的互动呈现出什么特征。在解决问题 1 的过程中,与早期足球运动的相关研究类似,研究者采用社会网络分析的方法,通过确定球员之间相互联系的标准、建立临近矩阵和网络映射 3 个步骤完成了对球员互动次数的有效测量,并认为团队内球员之间的互动次数和球员之间的互动概率是影响问题 2 的两个关键指标。通过对数据的分析,研究对比了两种不同的球队内互动模式,一种倾向于更多队友间互动,另一种则更倾向于球员的个人表现与主动性。最终,研究在一定条件下认为,影响团队表现的重要特征为球员之间的互动水平。

2.2.7 冰球

Stuart(2017)将社会网络分析应用于冰球比赛,且为目前仅有的 1 篇相关文献。研究运用社会网络分析探讨了在冰球比赛中球员更换所导致的团队结构变化,及其对团队表现的影响。选择冰球,是因为这项运动在比赛过程中会经常出现球员意外伤退的情况,这为探讨球员更换对团队结构的影响提供了较好的现实数据。针对这一问题,研究提出了 3 个基本假设:1)随着现有队员中心性的增加,对后续团队表现的负面影响增大;2)随着团队中退场球员中心性的增加,团队的互动关系有所减少;3)在团队球员退出后,球员互动的增加与团队表现呈正相关。研究采用 2006—2007 年 NHL 常规赛受伤球员的数据,运用网络中心性和网络密度测量球员退出前后团

队结构的变化。通过统计分析,3 个假设得到了验证,并提出在高中心性球员退出后,球员互动结构的重组策略对促进团队表现方面发挥了重要的作用,这也为教练员在训练和竞赛中提供了新的见解。

2.2.8 手球

Korte 等(2018)比较了篮球、足球和手球 3 种团队运动的互动模式,对不同的团队运动进行了对比分析。研究认为,篮球运动中的控卫、足球运动中的防守型中场和手球运动中的中锋处于团队战术位置的核心,并通过最小生成树模型实现了每项运动球员互动的的基本结构可视化。

2.3 团队运动中社会网络分析的主要流程

通过对 74 篇纳入文献的研究,社会网络分析在团队运动中的应用主要分为 6 个基本流程(图 2):1)研究问题的提出;2)操作化,界定网络的节点与边;3)数据收集;4)建立临近矩阵;5)网络映射;6)网络属性的解释。

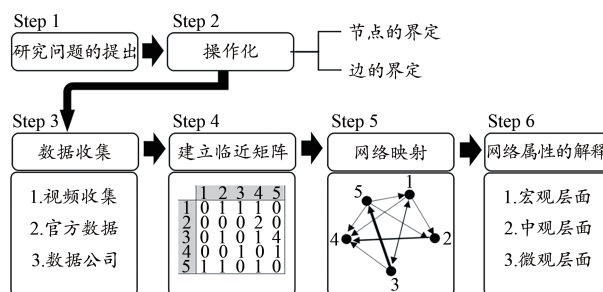


图 2 团队运动中社会网络分析的主要流程

Figure 2. The Main Process of Social Network Analysis in Team Sports

“团队运动中球员的互动如何影响球队的整体表现”是目前研究普遍讨论的核心问题,研究者从球员互动的结构特征和动态特征两个方面对这一问题进行了分析,而如何对互动行为进行测量是整个研究能够开展的关键。社会网络分析中,节点和边是形成网络的最基本要素,节点之间通过边相互联系,节点与边的集合最终形成一个完整的网络结构。根据这一思路,团队运动中的互动行为就可以被操作化为以球员为节点、以传球为边所形成的一个网络结构,这也是目前研究中最常用的方式之一。通过节点和边的界定,团队运动中的互动行为将能够被测量,而最终可以用节点和边的集合所形成的网络结构表征团队互动的的基本特征。此外,团队运动中互动行为的操作化需要根据研究问题的不同而进行调整,其最终目的都是尽可能地反映研究问题的本质。

对于数据的来源,社会网络分析提供了一种相对便利的方式,它不仅可以用现场录制的比赛视频,也可以采用网络或电视传播的比赛视频进行数据采集,为研究提供了更丰富的空间。此外,各类网络数据库中的数据也为研究者提供了更多的数据来源。在纳入的 74 篇文献

中,普遍基于这两种数据来源方式。由于球员之间传球数据的重要性,一些国际体育数据提供商也开始为客户提供球员之间的传球数据。其中,Grund(2012)在研究中就采用了Opta Sports提供的数据,分析了760场英超比赛,共283 259次传球数据,形成1 520个传球网络。

建立临近矩阵是进行网络分析前的数据准备。根据球员之间的互动关系,临近矩阵中的数据不仅代表了球员间互动的次数,也包含互动的方向。将临近矩阵中的数据转换成网络映射是网络分析的重要环节,能够完成这一工作的软件有很多种,如Gephi、Pajek、Ucinet等。这种网络映射的可视化,提高了社会网络分析应用的价值。

Clemente等(2016)开发了一种专门用于团队运动的网络分析软件uPATO,软件最初是为了减少创建团队运动临近矩阵时所消耗的时间,随后扩展分析功能以提供计算网络相关指标的工具。指标分为3类:个人指标、子群指标和团队指标(Clemente et al., 2016; Silva et al., 2017)。这3类指标包括了目前研究在团队互动结构微观层面、中观层面和宏观层面的常用变量(表2),用以描述网络的结构特性,进而对研究问题进行解释。此外,在对网络属性进行描述的过程中,还可以结合比赛过程的时间和空间数据,使得分析的结果更符合运动实践。

表2 社会网络分析中主要变量

Table 2 List of Main Variables in Social Network Analysis

研究视角	主要变量		
微观层面	度中心性	中介中心性	特征向量中心性
	度威望	矩心	聚类系数
	接近中心性	临近威望	子图中心性
	PageRank 中心性	权力中心性	
中观层面	邻居节点平均度	度相关系数	拓扑重叠
宏观层面	总链接	网络密度	距离
	网络直径	派系	网络异质性
	传递性	互惠性	集中化

注:变量的详细解释与其在团队运动中的基本含义参考 *Social Network Analysis Applied to Team Sports Analysis* 一书。

3 讨论

3.1 基本假设

团队运动作为复杂的动态系统(Glazier et al., 2009),球员之间的频繁互动被认为是影响团队表现的重要因素(Araújo et al., 2016; Passos, 2016)。但是,团队行为的相互依赖性和系统性,在原有的研究框架内并不容易理解,导致团队的整体表现往往用单个球员表现的简单聚合来表征,使得对比赛事实的解释力度有限(Carron et al., 2002)。社会网络分析则强调团队运动中结构关系的重要性,其首要目标就是精确测量和展现这些结构关系,并进一步解释其发生的原因和带来的影响。

在应用社会网络分析验证“团队内部球员之间的互

动特征与团队表现存在关系”这一基本假设的过程中,首先需要明确3个问题:1)对于理解所观察团队的互动行为,结构性关系数据往往比球员的个体特征数据更为重要。因为标准统计技术观察独立性的主要假设在团队运动环境中并不适用(Lusher et al., 2010),球员之间的相互联系正是团队运动最重要的特征之一。社会网络分析展现的另一个优势是能够同时对结构性关系数据和个体特征数据进行分析。2)球员之间互动所建立的结构关系影响着球员行为和团队表现。对于团队运动来说,球员之间的互动具有明确的组织特性,而非一种随机行为。虽然这种行为的无标度属性仅在足球运动中被验证(Yamamoto, 2010),但不同的场上角色分工确实存在于每一项团队运动中。3)团队互动的结构关系是一个动态过程。球员互动所形成的网络并非是一个静态结构,而是随着球员、团队和对手等实体之间的互动,在时间和空间变量上表现出不断变化的动态特征。由于社会网络分析同时涵盖了球员以及球员之间的互动关系,因此为微观层面的行为选择和宏观层面的结构变化建立了沟通的桥梁,并提供了有效的分析概念和方法。这种动态过程的分析,能够更加真实准确地解释影响团队运动表现的各项因素。

3.2 节点和边

在现有的研究中,社会网络分析表现出应用的可行性,而这种可行性的基础正是建立在对节点和边属性的界定上,使得团队运动中的互动行为可以被概念化为一个网络。

Bundio(2007)提出一种基于社会网络视角的足球分析方法,将社会网络分析中节点和边的概念与足球运动中球员和传球的概念进行了结合,而此后的大部分研究也基本遵循了这种节点和边的界定方式(李博等,2017)。然而,由于研究问题的不同,节点和边的界定也会存在差异,如Sasaki等(2017)在橄榄球运动的研究中以不同位置为节点,并增加了Scrum和Lineout两种比赛中常见的争球情况;Hurst等(2016, 2017)和Loureiro(2017)将排球比赛的不同比赛环节界定为节点。这种灵活的节点和边的界定方式,体现了社会网络分析在探索团队运动表现问题过程中的灵活性和实用性。

关系数据在社会网络分析中具有重要的地位,团队运动中最直接的互动关系就是球员之间的传球行为。这种关系不是一个球员的特征,而是在只有两个球员出现互动时才产生的一种共同的对偶特征。这种对偶特征的集合形成了团队运动中两种不同层面的关系:球员间关系(合作关系)和团队间关系(竞争关系)。对于团队运动表现分析来说,理解这两种关系是极其重要的,能够为运动实践的发展提供有力指导。不同的团队运动,由于规则的约束,这两种关系的表现形式也存在一定的差异。

因此, 社会网络分析的应用需要对不同团队运动的互动关系特征进行深入的思考, 以避免方法的滥用与错用。

3.3 网络

节点和边的集合构成一个完整的网络, 而网络结构的不同属性对解释团队运动表现的相关问题具有重要的理论意义。在文献中, 研究者从不同视角分别概述了网络结构提供对团队运动互动行为的有用见解。

目前, 社会网络分析在足球运动中得到了较好的应用, 由于足球运动中球员的得分机会往往不能够被认为是个人表现的可靠指标, 每一个球员在团队中的表现总是与团队的整体表现息息相关。通过分析这种球员间互动行为所形成的网络结构特征, 能够揭示球员与团队之间的交互模式 (Fewell et al., 2012; Gama et al., 2014)。在现有文献中, 这种交互模式可以总结为两种: 球员之间的合作网络和球队之间的竞争网络。除像足球一样的低得分运动, 排球和篮球这种高得分运动同样也存在这样的交互模式, 但由于现有实证研究数量的较少, 以及比赛模式的差异, 还不能更好地验证社会网络分析在解释这类团队运动中交互模式的普遍适用性。随着对静态网络分析的推进, 网络的动态性进入研究者的视野。这种研究的逐步推进, 使得对于所研究问题的探索进入到一个更为复杂的领域。

社会网络分析不仅能够将团队的互动行为概念化为一个网络, 还可以通过网络映射的方式将这种结构关系以可视化的方式展现出来, 这一优势极大的扩展了社会网络分析在运动实践中应用的可行性, 为教练员的训练和比赛提供了更为丰富的数据信息。

3.4 未来研究的空间

无论是足球运动, 还是其他团队运动, 在探索球员互动与团队表现关系的过程中, 社会网络分析被证明是一种有效的研究工具。但是, 对于研究的发展来说, 社会网络分析在团队运动表现研究中的应用还处于研究范式的形成阶段, 依然存在很多的问题值得探索。基于前期成果, 提出未来研究的 4 个空间: 1) 讨论不同团队运动中球员互动如何对团队表现产生影响; 2) 在静态研究的基础上, 进一步讨论球员互动的动态特征, 及其对团队表现的影响机制; 3) 基于球员和团队的双向互构过程, 解释球员对团队表现的构建, 以及团队对球员行为选择的约束; 4) 从单一的球员传球互动网络向多重的球员社交、体能、心理等复杂网络过渡。本研究也存在一定的局限。研究采用引文追溯的文献检索策略, 并对零被引文献进行了补充, 力求最大程度地检索出相关研究。但在引文追溯的过程中, 依然存在遗漏相关文献的可能性, 以及在文献全文检索的过程中, 部分文献全文无法获取, 这些都可能造成研究结果出现偏差。

4 小结

社会网络分析在团队运动表现研究中的应用, 并非是对传统研究方法的摒弃, 而是在其基础上进行的补充与发展, 目的是为了能够更加科学地研究团队运动中球员互动与团队表现之间的内在关系。社会网络分析改变了原有运动标注分析将比赛事件从比赛环境中独立出来的研究范式, 使得研究更符合“团队的整体表现不等于各个球员表现的简单叠加”的基本共识。

在现有的实证研究中, 社会网络分析在解释球员互动的静态结构上表现出特有的优势, 并通过网络的可视化让静态结构能够直观的展现。网络动态属性的提出, 使得社会网络分析在团队运动表现研究中的应用空间变得更广阔, 但目前鲜见相关研究, 网络动态的分析还面临着许多复杂性的问题。此外, 球员互动的网络结构和团队表现之间的内在关系尚不明确, 某些结构是否能产生更好的团队表现或者团队表现是否会影响到球员之间的互动结构等问题, 仍未得到明确的回答。

参考文献:

- 戴维·诺克, 杨松, 2017. 社会网络分析 (第二版) [M]. 李兰, 译. 上海: 格致出版社.
- 郭仁红, 葛春林, 郝霖霖, 2017. 国外排球项目科研的前沿与热点分析 [J]. 首都体育学院学报, 29(2): 164-170, 187.
- 李博, 王雷, 2017. 社会网络分析法研究足球比赛传球表现的可行性分析 [J]. 北京体育大学学报, 40(8): 112-119.
- 李益群, 谢亚龙, 1999. 竞技体育博弈论初探 [J]. 体育科学, 19(5): 9-13.
- 林聚任, 2009. 社会网络分析: 理论、方法与应用 [M]. 北京: 北京师范大学出版社.
- 刘军, 2014. 整体网分析: UCINTE 软件实用指南 [M]. 上海: 格致出版社.
- 刘建和, 1997. 关于运动竞赛的系统研究 [J]. 成都体育学院学报, 23(4): 11-16.
- 杨尚剑, 2014. 高水平青少年男子篮球队社会网络、互动过程与绩效关系研究 [D]. 上海: 华东师范大学.
- 约翰·斯科特, 2016. 社会网络分析法 [M]. 刘军, 译. 重庆: 重庆大学出版社.
- 张庆春, 马国义, 蒋国勤, 等, 2005. 同场对抗性集体球类项目球队竞技能力要素分析 [J]. 上海体育学院学报, 29(4): 68-71.
- 张欣, 赵亮, 2017. 基于知识图谱的国内外排球领域研究现状及热点的可视化分析 [J]. 北京体育大学学报, 40(10): 113-119.
- ABBOTT A, 1997. Of time and space: The contemporary relevance of the chicago school [J]. Soc Forces, 75(4): 1149-1182.
- ALLSOPP P E, CLARKE S R, 2004. Rating teams and analysing outcomes in one-day and test cricket [J]. J Roy Stat Soc A Sta, 167(4): 657-667.
- ARAÚJO D, DAVIDS K, 2016. Team synergies in sport: Theory and measures [J]. Front psychol, 7: 1449.
- ARAÚJO D, DAVIDS K, HRISTOVSKI R, 2006. The ecological dynamics of decision making in sport [J]. Psychol Sport Exerc, 7(6): 653-676.

- BUNDIO J, CONDE M, 2007. Exploraciones en Fútbol y Redes Sociales: Análisis del desempeño deportivo durante la Eurocopa 2004 a partir del análisis de redes sociales[J]. *Redes-Revista Hispana Para el Análisis de Redes Sociales*, 13(2):1-23.
- CARRON A V, COLMAN M M, WHEELER J, et al., 2002. Cohesion and performance in sport: A meta analysis[J]. *J Sport Exerc Psychol*, 24(2):168-188.
- CLEMENTE F M, COUCEIRO M S, MARTINS F M L, et al., 2014. Using network metrics to investigate football team players' connections: A pilot study[J]. *Motriz Revista de Educação Física*, 20(3):262-271.
- CLEMENTE F M, MARTINS F M L, KALAMARAS D, et al., 2015. Network analysis in basketball: Inspecting the prominent players using centrality metrics [J]. *J Phys Educ Sport*, 15(2):212-217.
- CLEMENTE F M, SILVA F, MARTINS F M L, et al., 2016. Performance analysis tool for network analysis on team sports: A case study of FIFA soccer World Cup 2014[J]. *P I Mech Eng P-J Spo*, 230(3):158-170.
- COTTA C, MORA A M, MERELOMOLINA C, et al., 2011. FIFA World Cup 2010: A network analysis of the champion team play [J]. *J Systems Sci Complexity*, doi: 10.1007/s11424-013-2291-2.
- DEY P, GANGULY M, ROY S, 2017. Network centrality based team formation: A case study on T-20 cricket[J]. *Appl Comput Inform*, 13(2):161-168.
- DUCH J, WAITZMAN J S, AMARAL L A, 2010. Quantifying the performance of individual players in a team activity[J]. *PLoS One*, 5(6): e10937.
- FAJEN B R, RILEY M A, TURVEY M T, et al., 2009. Information, affordances, and the control of action in sport[J]. *Chinese J Disinfection*, 40(1):143-150.
- FEWELL J H, ARMBRUSTER D, INGRAHAM J, et al., 2012. Basketball teams as strategic networks[J]. *PLoS One*, 7(11): e47445.
- FEWELL J H, DIETER A, JOHN I, et al., 2012. Basketball Teams as Strategic Networks[J]. *PLoS One*, 7(11): e47445.
- GAMA J, PASSOS P, DAVIDS K, et al., 2014. Network analysis and intra-team activity in attacking phases of professional football [J]. *Int J Perf Anal Sport*, 14(17):692-708.
- GARGANTA J, 2001. A análise da performance nos jogos desportivos. Revisão acerca da análise do jogo [J]. *Revista portuguesa de ciências do desporto*, 1(1):57-64.
- GLAZIER P S, DAVIDS K, 2009. Constraints on the complete optimization of human motion[J]. *Sports Med*, 39(1):15-28.
- GOULD P, GATRELL A, 1979. A structural analysis of a game: The Liverpool v Manchester united cup final of 1977[J]. *Soc Networks*, 2(3):253-273.
- GRÉHAIGNE J F, BOUTHIER D, DAVID B, 1997. Dynamic-system analysis of opponent relationships in collective actions in soccer [J]. *J Sports Sci*, 15(2):137-149.
- GRÉHAIGNE J F, GODBOUT P, 1995. Tactical knowledge in team sports from a constructivist and cognitivist perspective[J]. *Quest*, 47(4):490-505.
- GRUND T U, 2012. Network structure and team performance: The case of english premier league soccer teams[J]. *Soc Networks*, 34(4):682-690.
- HURST M, LOUREIRO M, VALONGO B, et al., 2016. Systemic mapping of high-level women's volleyball using social network analysis: The case of serve (K0), side-out (KI), side-out transition (KII) and transition (KIII)[J]. *Int J Perf Anal Sport*, 16(2):696-710.
- HURST M, LOUREIRO M, VALONGO B, et al., 2017. Systemic mapping of high-level women's volleyball using social network analysis: The case of attack coverage, freeball, and downball [J]. *Monten J Sports Sci Med*, 6(1):57-64.
- JUAN G P, GIBSON M P, 2017. Network analysis in small-sided and conditioned soccer games[J]. *Kinesiology*, 49(2):185-193.
- LOUREIRO M, HURST M, VALONGO B, et al., 2017. A comprehensive mapping of high-level men's volleyball gameplay through social network analysis: Analysing serve, side-out, side-out transition and transition[J]. *Monten J Sports Sci Med*, 6(2):35-41.
- LUSHER D, ROBINS G, KREMER P, 2010. The application of social network analysis to team sports[J]. *Meas Phys Educ Exerc Sci*, 14(4):211-224.
- MCGARRY T, 2009. Applied and theoretical perspectives of performance analysis in sport: Scientific issues and challenges[J]. *Int J Perf Anal Sport*, 9(1):128-140.
- MCGARRY T, ANDERSON D I, WALLACE S A, et al., 2002. Sport competition as a dynamical self-organizing system [J]. *J Sports Sci*, 20(10):771-781.
- MCHALE I G, RELTON S D, 2018. Identifying key players in soccer teams using network analysis and pass difficulty [J]. *Eur J Oper Res*, 268(1):339-347.
- MCLEAN S, 2018. A social network analysis of the goal scoring passing networks of the 2016 European Football Championships [J]. *Hum Mov Sci*, 57:400-408.
- METZLER J, 1987. Fondements théoriques et pratiques d'une démarche d'enseignement des sports collectifs [J]. *Spirales*, 1:143-151.
- MORENO J L, 1934. Who Shall Survive?: A New Approach to the Problem of Human Interrelations [M]. Washington, DC: Nervous and Mental Disease Publishing Co.
- MUKHERJEE S, 2013. Complex network analysis in cricket: Community structure, player's role and performance index [J]. *Adv Complex Syst*, 16(8):1-20.
- MUKHERJEE S, 2014. Quantifying individual performance in cricket: A network analysis of batsmen and bowlers [J]. *Physica A*, 393:624-637.
- NEVILL A M, ATKINSON G, HUGHES M D, et al., 2002. Statistical methods for analysing discrete and categorical data recorded in performance analysis [J]. *J Sports Sci*, 20(10):829-844.
- PARK K J, YILMAZ A, 2010. Social network approach to analysis of soccer game [C]//2010 20th International Conference on Pattern Recognition. Istanbul: IEEE.
- PASSOS P, 2016. Team member interaction analysis [M]//Passos P, Araújo D and Volosovitch A. Performance Analysis in Team Sports. London: Routledge Taylor & Francis Group.
- PASSOS P, ARAÚJO D, DAVIDS K, et al., 2006. Interpersonal dynamics in sport: The role of artificial neural networks and 3-D analysis [J]. *Behav Res Methods*, 38(4):683-691.
- PASSOS P, DAVIDS K, ARAÚJO D, et al., 2011. Networks as a

novel tool for studying team ball sports as complex social systems [J]. *J Sci Med Sport*, 14(2):170-176.

PINA T J, PAULO A, ARAÚJO D, 2017. Network characteristics of successful performance in association football. A study on the UEFA Champions League [J]. *Front psychol*, doi: 10.1371/journal.pone.0029638.

SARGENT J, BEDFORD A, 2013. Evaluating Australian football league player contributions using interactive network simulation [J]. *J Sports Sci Med*, 12(1):116-121.

SASAKI K, YAMAMOTO T, MIYAO M, et al., 2017. Network centrality analysis to determine the tactical leader of a sports team [J]. *Int J Perf Anal Sport*, 17(6):822-831.

SCARF P, SHI X, AKHTAR S, 2011. On the distribution of runs scored and batting strategy in test cricket [J]. *J R Stat Soc A Stat*, 174(2):471-497.

SILVA F G M, GOMES A J P, NGUYEN Q T, et al., 2017. A new tool for network analysis on team sports the ultimate performance analysis tool [C]//International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC). Funchal: IEEE.

STUART H C, 2017. Structural disruption, relational experimentation, and performance in professional hockey teams: A network perspective on member change [J]. *Organ Sci*, 28(2):283-300.

WÄSCHE H, DICKSON G, WOLL A, et al., 2017. Social network analysis in sport research: An emerging paradigm [J]. *Eur J Sport Soc*, 14(3):1-28.

WELLMAN B, WASSERMAN S, 2000. Social Networks [M]//KAZDIN A. *Encyclopedia of Psychology*. New York: American Psychological Association and Oxford University Press.

YAMAMOTO Y, 2009. Scale-free property of the passing behaviour in a team sport [J]. *Int J Sport Health Sci*, 7:86-95.

YAMAMOTO Y, YOKOYAMA K, 2011. Common and unique network dynamics in football games [J]. *PLoS One*, doi: 10.1371/journal.pone.0029638.

김혜진, 2007. 사회연결망 (social network analysis: SNA) 을 이용한 스포츠경기분석 [J]. *한국체육측정평가학회지*, 9:99-112.

(收稿日期:2019-10-25; 修订日期:2021-04-09; 编辑:尹航)

(上接第 99 页)

参考文献:

程翔, 孙迪, 鲍新中, 2020. 经济高质量发展视角下我国省域产业结构调整评价 [J]. *经济体制改革*, (4):122-128.

丛湖平, 2019. 体育产业高质量发展与体育消费升级 [C]//第十一届全国体育科学大会. 中国体育科学学会:南京:2.

戴腾辉, 王跃, 周孝, 等, 2019. 我国体育产业发展过程中的宏观经济效应分析:基于总量和结构的视角 [J]. *西安体育学院学报*, 36(3):257-263.

丁正军, 战磊, 2018. 新时代我国体育产业高质量发展的综合动因与对策思路 [J]. *学术论坛*, 41(6):93-99.

郭晗, 任保平, 2020. 新时代我国体育产业的高质量发展:逻辑生成与路径选择 [J]. *西安体育学院学报*, 37(3):291-297.

郭亚军, 2016. 综合评价理论、方法及拓展 [M]. 北京:科学出版社.

黄海燕, 徐开娟, 曾鑫峰, 等, 2019a. 关于优化与完善我国体育产业统计体系的研究 [J]. *中国体育科技*, 55(4):14-21.

黄海燕, 朱启莹, 2019b. 体育消费的内在逻辑拓展与政策选择 [J]. *体育学研究*, 2(4):13-20.

金磊, 2018. 关于“高质量发展”的经济学研究 [J]. *中国工业经济*, (4):5-18.

李荣日, 刘宁宁, 2020. 理论框架与逻辑通路:我国体育产业高质量发展研究 [J]. *天津体育学院学报*, (6):651-657.

李伟, 2018. 高质量发展的六大内涵 [J]. *中国林业产业*, (Z1):50-51.

李崑, 胡佳澍, 黄海燕, 2020. 新时代体育发展综合评价体系构建及实证研究 [J]. *体育科学*, 40(7):14-24,39.

刘扶民, 2019. 贯彻落实《国务院办公厅关于促进全民健身和体育消费推动体育产业高质量发展的意见》推动体育产业成为国民经济支柱性产业 [J]. *体育科学*, 39(10):3-10.

刘明广, 2016. 城市创新指数设计与实证研究:以广东省广州市为例 [J]. *商业经济研究*, (6):21-24.

宁朝山, 2020. 基于质量、效率、动力三维视角的数字经济对经济高质量发展多维影响研究 [J]. *贵州社会科学*, (4):129-135.

任波, 黄海燕, 2020. 中国体育产业结构优化的机制、逻辑与路径 [J]. *首都体育学院学报*, 32(5):417-422,467.

师博, 张冰瑶, 2019. 全国地级以上城市经济高质量发展测度与分析 [J]. *社会科学研究*, (3):19-27.

史丹, 李鹏, 2019. 我国经济高质量发展测度与国际比较 [J]. *东南学术*, (5):169-180.

涂人猛, 2019. 构建产业高质量发展体系的基本思路:以湖北省为例 [J]. *湖北社会科学*, (7):28-31.

王晨曦, 满江虹, 2020. 中国体育产业高质量发展评价指标体系的构建:基于动力变革、效率变革、质量变革 [J]. *首都体育学院学报*, 32(3):241-250.

王千, 2020. 中国经济高质量发展的统计测评体系建构理路:基于全象资金流量观测系统的视角 [J]. *河南师范大学学报(哲学社会科学版)*, 47(1):79-86.

王钟云, 张剑利, 2019. 健康中国背景下浙江体育产业高质量发展研究 [J]. *浙江体育科学*, 41(3):27-31,88.

徐开娟, 黄海燕, 廉涛, 等, 2019. 我国体育产业高质量发展的路径与关键问题 [J]. *上海体育学院学报*, 43(4):29-37.

张银银, 2018. 高质量发展阶段的产业政策优化研究 [J]. *当代经济管理*, 40(12):1-5.

赵铁龙, 戴腾辉, 2019. 我国体育产业发展过程中的区域性特征分析:基于现有省际数据 [J]. *中国体育科技*, 55(4):31-42,80.

朱之鑫, 张燕生, 马庆斌, 2019. 中国经济高质量发展研究 [M]. 北京:中国经济出版社.

(收稿日期:2021-01-14; 修订日期:2022-01-10; 编辑:高天艾)