

基于脑机接口的赛博格竞技: 价值蕴含、衍生风险与治理路径

郑润坤¹, 张民兴², 罗公利¹

(1. 山东科技大学 经济管理学院, 山东 青岛 266590; 2. 山东大学 法学院, 山东 青岛 266237)

【摘要】 基于脑机接口的赛博格(Cyborg, 为Cybernetic Organism一词的缩写, 具体指机械等人工技术与有机体结合而成的混合体)竞技是面向严重运动障碍者的新型竞技类型, 探究其价值蕴含、衍生风险及治理路径具有重要意义。研究表明: 脑机接口通过适配竞技场景的技术范式和多技术耦合模式可以在当下和未来实现对赛博格竞技的持续赋能。与此同时, 脑机接口技术将为体育领域带来双重影响。一方面, 在坚守运动员能力本位的基础上, 基于脑机接口的赛博格竞技既蕴含超越自我、包容多元等竞技核心价值, 也蕴含科技推动、社会促进等竞技辐射价值; 另一方面, 基于脑机接口的赛博格竞技可能会衍生出伦理失衡、身心异化和权益受损等多重风险。对此, 应分别通过原则路径、制度路径和法律路径予以治理。

【关键词】 脑机接口; 赛博格竞技; 严重运动障碍者; 技术赋能; 竞技体育价值; 风险治理

【中图分类号】 TN911.7; G80-05 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 2096-5656(2026)04-0105-14

DOI: 10.15877/j.cnki.nsic.20251225.001

在传统竞技体育领域, 严重运动障碍者无法被接纳(研究将“严重运动障碍者”定义为因疾病、遗传、损伤等原因导致主要肢体运动能力丧失, 难以在无他人辅助下自主参与运动活动的残障群体)。一项针对490名脊髓损伤者的实证研究发现, 近七成受访者表示有参加体育活动的需求^[1]。脑机接口技术能够辅助严重运动障碍者在一定程度上实现独立运动^[2]。当前, 该技术已能支持严重运动障碍者进行简单移动、计算机操作等部分基础自主活动。我国首例脑机接口临床试验中, 医生成功将侵入式脑机接口设备植入一位因高压电事故导致四肢截肢的患者脑中, 术后仅经过两三周训练, 该患者即可较为稳定地使用电脑下象棋、玩赛车游戏。^[3]埃隆·马斯克旗下公司已治疗7名严重运动障碍患者, 这些患者能够控制电脑、机械臂等, 其平均每周使用设备时长约50 h, 峰值超过100 h^[4]。2024年举办的中国·浙江残疾人未来科技运动会上, 展现了赛博格竞技的无限可能^[5]。

2025年7月30日, 工业和信息化部、国家发展改革委、教育部等七部门发布的《关于推动脑机接口产业创新发展的实施意见》指出, 到2027年我国

脑机接口技术将在多个领域展开落地应用, 初步形成具备一定规模的产业体系, 到2030年脑机接口产业创新能力显著提升, 形成安全可靠的产业体系。在此背景下, 通过竞技类比赛“在实验室外环境中提供基准测试平台来推动以用户为中心的残障人士辅助技术开发”^[6]的脑机接口实践应用活动日渐增加。保守估算, 我国重度残障人数已超过2 000万人^[7], 国内潜在脑机接口适用需求巨大^[8]。但是, 脑机接口技术是把双刃剑, 这一新兴科技的应用可能会衍生出许多风险^[9]。基于此, 研究对基于脑机接口的赛博格竞技的价值、风险和治理展开系统性研究。

1 脑机接口技术赋能赛博格竞技的路径

1.1 相关概念界定

脑机接口(Brain-Computer Interface, BCI)是

收稿日期: 2025-09-15

基金项目: 国家社会科学基金一般项目(22BTY047); 江苏高校“青蓝工程”资助。

第一作者: 郑润坤, 博士生, 研究方向: 体育经济管理。

通信作者: 罗公利, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 体育战略管理。

一种测量并识别中枢神经系统(Central Nervous System, CNS)活动(一般指大脑神经系统)并将其转换为人工输出的系统,这种人工输出可以替代、恢复、增强、补充或改善自然的CNS输出,从而改变CNS与其内部或外部环境之间持续的相互作用^[10]。脑机接口旨在通过在人脑与外部设备间建立一条不依赖周围神经、肌肉等常规信息输出通道的通信渠道^[11],实现两者间直接的信息传递,为相关领域的应用提供技术基础。目前,该技术开始应用于医疗领域,包括恢复或提高身体残障人士沟通、运动技能的医疗训练等^[12]。

赛博格竞技指主要由严重运动“障碍”的人在脑机接口等前沿科技辅助下以人机一体方式参与的融合体育规则的竞赛活动。最具代表性的赛博格竞技赛事是Cybathlon(半机械人奥运会或赛博格奥运会),其是苏黎世联邦理工学院设立的非营利比赛项目,旨在通过邀请全球范围内的团队参赛,推动适用于残疾人日常使用的辅助技术研发^[13]。该赛事每四年举办一届,自2016年首届Cybathlon举办起,已连续举办三届。

1.2 脑机接口技术赋能赛博格竞技的现实路径:以技术范式为中心展开

在2024赛博格奥运会的脑机接口组比赛(以下简称“2024脑机接口赛”)中,来自美国匹兹堡大学康复神经工程实验室的团队(PittCrew)通过脑机接口技术为高位脊髓损伤致颈部以下瘫痪的运动员菲利普(Phillip)提供辅助技术支持(赛博格奥运会中的参赛运动员通常被称为“领航员”(pilot),文中将其统一称为“赛博格运动员”),帮助其顺利完成驾驶轮椅避开障碍物、使用钥匙开锁和通过机械臂在制冰机下接水等虚拟任务,并最终获得冠军^[14]。脑机接口系统由3个基本单位构成,分别承担信号采集、信号处理和功能应用任务^[15]。在赛博格竞技场景中,其可形成“运动信号产生与采集→运动意图分析与生成→运动动作完成与调整”这一正向技术支持范式,实现脑机接口技术与赛博格竞技在实践中的良性融合。

第一,运动信号产生与采集。此环节是基于脑机接口的赛博格竞技(以下简称“脑机接口赛博格竞技”)运行的基础。首先,需要运动员执行特定任务以产生与运动相关的脑电信号。目前在赛博格竞

技中所采用的主要方式是运动想象。当个体进行肢体运动想象时,其运动皮层内特定神经元群会呈现与实际执行该肢体运动时相似的放电模式,该现象在瘫痪个体中同样成立^[16]。然后,需要通过采集装置对运动员发出的脑电信号进行捕获。根据采集方式的不同,较为常见的包括非侵入人体和侵入人体两种方式^[17]。非侵入方式操作简便、安全无创,但所采集的运动脑电信号在数量与质量上相对有限。侵入方式需通过向大脑内部植入传感器完成脑电信号采集,虽存在一定风险,但其获取的信号在数量与质量上均更具优势。在2024脑机接口赛中,Phillip使用了植入运动皮层的微电极,这些电极直接记录大脑中通常控制手部活动区域的脑电信号,当运动员企图移动手部时,运动皮层中的植入物会被激活进而对相关信号进行采集^[14]。

第二,运动意图分析与生成。此环节是脑机接口赛博格竞技完成的保障。首先,需要对采集到的运动员脑电信号进行预处理。对于已捕获的脑电信号,需要基于神经成像技术对其进行预处理(如降噪、伪影去除)并提取判别性特征^[18]。通过机器学习算法对预处理后的脑电信号进行解码,识别出其中包含的运动意图。在竞技场景中,该环节是连接“运动员运动意图”与“替代运动行为”的关键,直接决定赛博格运动员是否在事实上真正获得竞技主体资格和能力。例如,在2016赛博格奥运会的脑机接口组比赛中,设计有如下规则:正确运动指令会使赛车加速,错误运动指令会使赛车减速,但不能完全停止^[19]。这意味着只要赛车手的脑电信号能被处理和解析,即使赛车手没有发出正确指令,最终也可以到达终点线。

第三,运动动作完成与调整。此环节是脑机接口赛博格竞技成绩优异的关键。首先,运动意图被解码后会发出运动指令或刺激指令,运动指令将驱动现实空间中的机械设备或虚拟空间中的计算机程序完成具体操作,刺激指令将以电信号传导至残障肢体并刺激其完成特定动作。然后,运动动作会通过画面、声音、感知等多种方式反馈至运动员,运动员获得反馈后需要通过脑机接口发出下一步的调整指令。调整指令可能是对错误指令的纠正,也可能是对正确指令的维持。例如,在2024脑机接口赛中,最具挑战性的部分是制冰机接水任务,这项任务要

求在制冰机正下方持续拿住水杯并接住所有掉落的冰块^[14]。具体而言,需要运动员根据实时画面反馈,持续调整自身的意图输出,一旦发现水杯有晃动迹象,需要即刻停止无关意图的产生,进而通过放空大脑间接生成维持指令。

1.3 脑机接口技术赋能赛博格竞技的未来路径:以技术耦合为中心展开

随着脑机接口技术的不断成熟,其应用逻辑将从“单一辅助”升级为“多技术耦合”,这种“BCI+X”的技术耦合模式,为赋予赛博格竞技场景形态提供了新的可能。典型的技术耦合模式包括“BCI+CBI”模式、“BCI+XR”模式和“BCI+AI”模式。结合3种模式,研究对赛博格竞技的未来形态做出如下展望(图1)。

第一,基于“BCI+CBI”模式的脑脑连接赛博格竞技。科学家正在积极探索融合脑—计算机接口(BCI)与计算机—脑接口(CBI)的技术架构,为个体间不依赖传统物理、感知交互通道进行信息传递提供可能^[15]。目前,脑脑之间的简单指令和基础感知交互方面取得了一定进展。在一项基于脑脑接口协作玩俄罗斯方块的实验中,两名发送者远程向接收者发送关于方块是否旋转的信息,接收者通过经颅磁刺激(TMS)作用于枕叶皮层的方式接收信息,随后整合信息并借助脑电信号做出是否旋转方块的决策^[20]。类似实验研究还有通过脑脑接口在发送者和接收者间完成问答任务等^[21]。基于此技术模式,未来可以考虑引入团队式脑机接口赛博格竞技,如在特定智力竞技中,团队成员基于该技术通过意识

之间的直接连接实现协同参与。

第二,基于“BCI+XR”模式的元宇宙赛博格竞技。随着头戴式显示器(HMD)在便携性、传输效率与交互精准度方面的不断优化,BCI与增强现实(AR)的技术融合正逐步推进,为构建更具沉浸性、交互性的应用环境提供了新的探索方向^[22]。脑机接口技术和虚拟现实(VR)技术的融合,能让用户在虚拟场景中获得与板球运动相关的沉浸式体验^[23]。这一技术组合的应用潜力在虚拟交互领域得到了初步验证。基于此技术模式,未来可进一步探索元宇宙背景下的脑机接口赛博格竞技:在AR技术构建的虚拟竞技场景中,尝试通过BCI技术识别用户的运动意图并将其转化为数字替身的对应竞技动作,同时借助传感技术提供实时感知反馈,提升虚拟竞技的沉浸感、交互感和自然感。

第三,基于“BCI+AI”模式的具身智能赛博格竞技。BCI与人工智能(AI)的集成有助于提升脑机接口系统的信号质量、解码精度及用户适应性等关键性能^[24]。就技术发展方向而言,融入人工智能的脑机接口设备有望逐步提升与用户的适配性^[25]。我国目前已开展BCI控制机器狗、具身智能机器人等复杂智能代理设备的相关研究^[3],并在实践中取得一定进展。例如,在2025年BCI脑控机器人大赛中,选手们已经可以通过脑机接口控制智能机器狗做出多种动作、控制无人机穿越障碍物等^[26]。基于此技术模式,未来可进一步探索借助脑机接口对机器人、无人驾驶汽车、无人机等独立智能移动设备实现更高精度、更长续航与更远距离操控的可行性,推

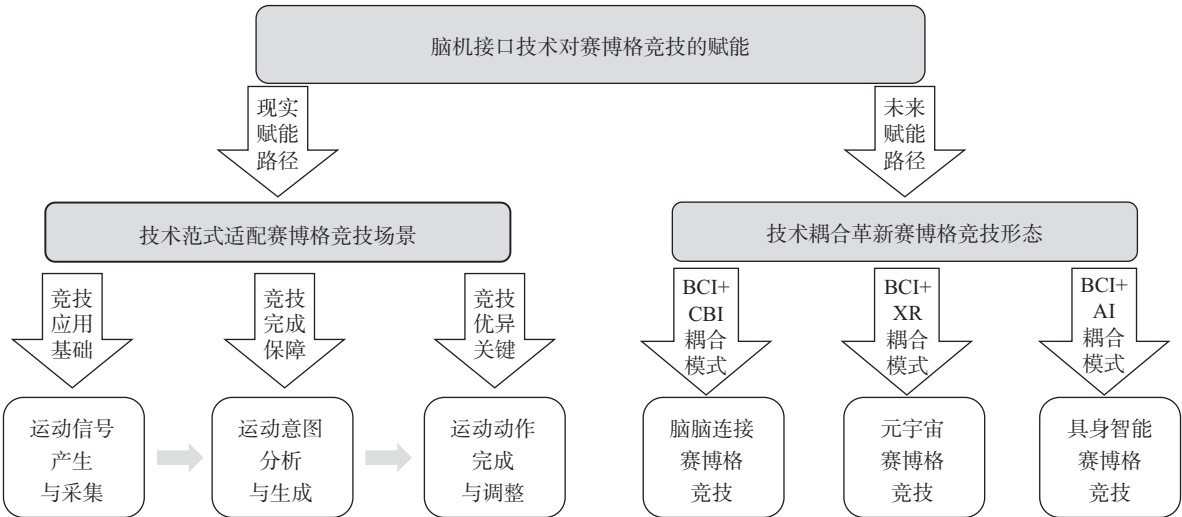


图1 脑机接口技术对赛博格竞技的赋能

Fig.1 The empowerment of brain-computer interface technology to cyborg competition

动形成比赛形态多元的具身智能赛博格竞技。

2 基于脑机接口的赛博格竞技的价值蕴含

2.1 基于脑机接口的赛博格竞技的体育本质

在传统观点中,体育运动属于主要以“标准健康身体”为前提的评价体系^[27],即人们往往更接受那些纯粹比拼天赋的赛事形式,将健全人的身体标准作为普适尺度。即便是在特殊体育运动领域,那些典型的“超人类赛博格”,如“刀锋战士”奥斯卡·皮斯托瑞斯(Oscar Pistorius),所对标的仍然是健全人形象标准,即以追求自身能力正常化甚至超越一般人能力为标准^[28]。基于此,面向严重运动障碍者的脑机接口赛博格竞技显然无法被纳入“体育”范畴。但是,该观点难以成立。首先,体育运动与科技发展具有不可割裂性。其一,体育是一个不断演变的社会范畴,作为一种实践表演,体育始终随着社会的进步而发展^[27]。在脑机接口技术逐渐发展,进而推动社会进步的背景下,体育活动也应对其进行积极回应。其有可能在未来成为竞技体育的主流形态^[29]。其二,体育运动已与科技进步密不可分。人们普遍认为,体育活动在未来的任何显著进步,都将在一定程度上依赖于技术^[30]。基于此,并不能因为脑机接口赛博格竞技中融入了相当部分的科技因素就将其排除在体育范畴之外。其三,严重运动障碍者的运动权利和运动利益应当受到重视和保护。每个人都天然享有进行体育运动的权利以及由此获得的实现自我、融入社会的运动利益。坚持体育运动必须保持纯粹、限制技术进步,以及基于身体差异限定运动员范围,都无助于维护上述权利和利益。最后,应当区分严重运动障碍者的体育范畴和健全者的体育范畴。残疾人具有后人类特质^[31]。通过基于脑机接口的赛博格竞技,残疾人不必被定义为“残缺者”,他们能摆脱传统身份标签的束缚,以“再生”的姿态重构自我^[32]。对于严重运动障碍者而言,更是如此。这一变化映射到体育领域:脑机接口赛博格竞技是对既往体育形态的新扩展而非再重复,其独立于传统体育而存在,应当以一种新视角对其进行认知。

脑机接口赛博格竞技是立足于人类能力本位的技术应用表现比拼,其体育本质体现在对运动员能力本位的坚守。不应在一个杜绝了技术世界的言语

里,展开何为体育的讨论^[33]。体育并不排斥科技,而是需要在消除科技因素的决定性影响后,对运动员自身的天赋和努力所展现的能力和技能进行衡量、比较和排名^[34]。赛博格竞技的表现核心是技术应用,但其内在核心是运动员对技术的驾驭能力,胜利属于那个最熟练、最充分运用先进技术的赛博格运动员^[35]。正因如此,《赛博格奥运会2021—2024赛事与规则》(以下简称《赛博格赛事与规则》)规定,判分的首要标准是任务的完成表现而非完成时间,任务表现需要运动员根据实际竞技情况灵活选择任务解决方案。具体而言,在脑机接口赛博格竞技中,运动员能力本位可以解构为能力习得本位、能力维持本位和能力决定本位。能力习得本位指赛博格运动员需要通过长期的专门训练才能掌握运用脑机接口技术的能力。以运动想象脑机接口为例,运动员需要投入大量的时间和精力进行训练才能掌握运用此技术的能力^[36]。能力维持本位指赛博格运动员需要不间断地进行训练,以维持其掌握的脑机接口运用能力。研究发现,在包括脑机接口竞技在内的赛博格竞技中,前期训练的持续将会显著提升比赛成绩,后期训练的持续将会使成绩维持在某个优异成绩区间^[37]。能力决定本位指赛博格运动员自身的能力(包括运用脑机接口的能力、意志能力和决策能力)将最终决定竞技的走向和结果。例如,2024脑机接口赛中最具难度的是制冰机任务,其顺利完成的关键在于运动员能够综合运用自身的多种能力进行自我意识控制和实时临场调节。

2.2 基于脑机接口的赛博格竞技的竞技核心价值

2.2.1 超越自我价值

其一,严重运动障碍者在脑机接口技术的支持下克服运动障碍生理局限。体育运动需要竞技者挑战自身极限,不断克服各种困难,实现对自身和对手的双重超越^[38]。赛博格竞技的理念是面向严重运动障碍者,通过现代技术与人类意志的结合克服运动障碍生理局限。严重运动障碍者的肢体运动功能受限或丧失,即大脑神经发出的动作指令无法到达肢体器官,进而无法令肢体依据自己的意图行动,这种肢体功能的受限或丧失导致严重运动障碍者无法像普通人一样参加体育运动。脑机接口技术通过采集严重运动障碍者的脑电信号,并经信号处理、解码后转化为可执行的外部设备指令,通过机械设备或

计算机程序在一定程度上赋予其代偿行动能力,进而帮助其克服部分生理制约^[39]。

其二,严重运动障碍者在脑机接口技术的支持下刻苦训练逐步取得进步。相比于传统体育竞技比拼肌肉爆发力、心肺耐力等外在客观能力,赛博格竞技比拼的是大脑的专注力、反应速度与策略思维等内在主观能力。但两者能力的提升均建立在大量的后天训练之上。对于严重运动障碍者而言,参与脑机接口赛博格竞技,是一条充满困难与挑战的道路,需要付出大量持续的努力,才能逐步取得进步。脑机接口技术的使用并不轻松,用户必须集中注意力才能产生良好的信号,而这些信号只能维持有限的时间,而且即使是复杂的任务也需要一次执行一个命令,这是一个烦琐又充满挑战的过程^[10]。脑机接口技术的使用易使人产生疲劳感,长时间使用或未及时重新校准可能会导致操作困难,反复地练习会不断消磨用户的积极性^[36]。而且在赛博格竞技中,这一充满困难的训练过程会被显著拉长,短至一年时间^[40],最长甚至可达十年时间^[41]。因此,严重运动障碍者若能在这一长期训练中持续坚持,不仅其运用脑机接口技术的能力会逐步提升,也能在这一过程中实现对自我的超越。

2.2.2 包容多元价值

其一,在体育竞技中接纳赛博格运动员“非典型”的身体形态。体育竞技的发展越来越强调多元、兼容、可持续,发展的重点逐步从普通人群拓展到各类需要特殊支持的人群^[42]。体育运动的内在价值是身体生成,传统体育运动造就的身体生成是身体的持续改变。这种改变基于身体自发性,难以预计但充满创造性,是一种整体性改变^[43]。可见传统体育身体生成中的“身体”仅限于人类的躯体或精神,而并不包含科技性的内容。但是,对于严重运动障碍者而言,脑机接口技术已经成为其身体的一部分,体育竞技对于严重运动障碍者的接纳就意味着对“人机身体”的接纳。在赛博格竞技中,运动员的身体改变已不再局限于自身身体的局部变化,而扩展为由身体和技术所组成的共生系统的整体变化。其获得的具身感知与自然身体实际在场获得的具身感知并不相同^[44]。借助脑机接口技术,严重运动障碍者的生命身体变得可感知、可测量。尽管无法直接“感知”大脑活动,但通过捕捉大脑的思维信号,能

够探索出身体的新行动模式^[45]。例如,在屏幕上观察自己的脑电图活动、在身体静止时通过意念构想生成动作指令、借助注意力控制产生动作等。赛博格运动员在此过程中,不再追求超人类主义的不切实际幻想,而是务实地专注于探索自身“生命身体”的内在潜力^[46]。

其二,在体育竞技中重视赛博格运动员“非典型”的匹配条件。在特殊体育竞技中,运动员群体存在着一个“可匹配”残障的等级制度,某些残障类型处于这一等级制度的顶端,某些最不被接受的特殊残障被归为“边缘残障”^[28]。严重运动障碍者便属于这种特殊残障运动员,他们的身体条件难以满足传统特殊体育项目对“可匹配残障”的隐性要求。例如,部分肢体障碍者可以在机械义肢的辅助下参加跑步、跳远等多种比赛项目,但是诸如瘫痪等严重运动障碍者因无法对四肢活动做出自主支配而无法参加任何体育项目。这导致严重运动障碍者在传统残障竞技中被忽视,进而被边缘化。在赛博格竞技中,严重运动障碍者的匹配条件成为重心,这类群体在脑机接口技术的帮助下通过意志操纵连接设备,在线上或线下参加多种竞技类比赛,其长期被忽视的竞技主体地位也由此得到认可和尊重。

2.3 基于脑机接口的赛博格竞技的竞技辐射价值

2.3.1 科技推动价值

其一,推动传统竞技科技发展。现代体育运动的方方面面都与技术和科技息息相关^[47]。脑机接口技术在赛博格竞技中的应用需要依托具体场景完成技术验证与路径设计,赛博格竞技正是实现这一过程的重要参照。脑机接口在赛博格竞技中的实际应用,不仅为该技术后续介入传统体育竞技领域提供了直接的技术验证依据,还搭建了可参考的实践路径。尤其在运动员状态监测这一关键环节,其推进作用更为明显。既有研究已经初步表明,脑机接口技术可以为用户的身体和心理(情绪)状态提供额外的信息渠道^[48],该技术和神经反馈技术相结合的新技术也可以评估认知负荷、注意力水平和感知错误^[49]。脑机接口技术在赛博格竞技中的运用,不仅能够积累贴合竞技场景的“用户脑电信号和状态关联”数据模型和算法模型,同时还可以对“脑机接口+神经反馈”等技术组合进行竞技场景下的针对性修正和调试。这些经验和思路能够为脑机接口技术

在传统体育竞技领域的应用提供参照,降低技术落地难度,推动该技术在传统体育领域的有效应用。

其二,推动残障辅助科技发展。在脑机接口赛博格竞技中,科技与体育竞技的关系从“单向促进”升级为“双向赋能”。在具体的比赛项目中,运动员需要完成多项任务,每项任务都对标日常生活中尚未解决的特定难题,借此评估现有技术的局限性,并推动创新解决方案的技术研发进程^[6]。例如,根据《赛博格赛事与规则》,在脑机接口竞赛中设置家具绕行任务,是因为日常生活空间内通常布满各类障碍物,使用电动轮椅等设备时需避开障碍物才能安全抵达目的地;设置钥匙开锁任务,是因为操控小型物品是完成许多日常生活任务的关键。此外,中枢神经信号和周围神经信号具有近似性,在脑机接口中实现高效分析中枢神经信号的解码算法也可用于解码肢体表面的周围神经信号,因而可将其用于研发智能义肢。例如,凭借脑机接口解码算法,我国非侵入式脑机接口企业强脑科技研发出多款智能仿生义肢,可以帮助因部分肢体残缺导致运动障碍的残疾人参与球类、跑步、攀岩等多种体育运动^[50]。

2.3.2 社会促进价值

第一,促进群体融合。严重运动障碍者由于多种身体机能受到限制往往无法融入正常的社会生活,导致其与其他社会成员之间可能难以顺畅交流,彼此之间存在一定隔阂。赛博格竞技可以在一定程度上消除这种隔阂,实现彼此间的理解和认同。为了实现最佳的竞技目标,有效的团队合作和沟通至关重要^[36]。扮演“领航员”角色的严重运动障碍者是团队的中心人物,其与其他成员之间需要保持大量沟通。而且,在脑机接口技术的辅助下,严重运动障碍者可以获得沟通能力^[51],同时还拥有更大的独立性和移动性^[52]。通过严重运动障碍者相对自主地和研究人员、裁判人员以及其他参赛人员等进行直接交流,可以实现彼此间的相互理解和认同。如前所述,为了赢得比赛,运动员需要付出大量努力进行训练,基于这种付出的正向反馈会在持续的训练过程中增强其自身的归属感和自信心,有助于其主动融入社会生活。

第二,促进产业发展。目前的脑机接口技术很少在实验室和临床环境之外使用^[6]。赛博格竞技既为该技术提供了直面现实挑战、在真实且高要求场

景中接受评估的机会,也能推动研究人员探索解决方案,进而为该技术在普通人中的规模化应用提供了可能。例如,在基于脑机接口的赛博格竞技中,脑机接口设备经历了从笨重的固定式设备,到移动式设备,再到复杂可穿戴式设备的发展过程,并正在向舒适便捷的可穿戴设备演进^[53]。脑机接口在竞技应用中所反映出来的技术痛点和需求催生了这种变化。而这种变化也有利于降低脑机接口设备的使用门槛,让脑机接口设备更易融入公众日常生活场景,为拓展脑机接口的消费级产品市场奠定基础。

第三,促进知识革新。脑机接口赛博格竞技并非单纯的科技竞技比拼,其延伸价值更在于以“竞技”为载体,成为脑机接口领域的重要科普窗口。作为面向社会大众的科普活动,该项竞技的核心目标之一,便是增强公众对脑机接口和其他辅助技术的关注与兴趣。正因如此,《赛博格赛事与规则》要求,比赛项目的设置应当能向观众直观、易懂地呈现“领航员”在日常生活中面临的部分挑战。这种科普形式突破了传统讲座、文章的单向传播模式,既实现比赛挑战的“可视化”,又实现观赛体验的“沉浸式”,让原本抽象的技术原理与应用场景变得可感知、可理解,从而将前沿科技与社会公众有效连接起来。这种前沿知识的传播不仅可以为残障群体带来实际赋能,也能让公众实现认知升级与价值共鸣。

总之,坚守运动员能力本位底线,脑机接口赛博格竞技的核心价值便具备了存在基础,并蕴含出超越自我、包容多元等具体价值;同时,竞技辐射价值也具备了正当基础,并蕴含出科技推动、社会促进等具体价值(图2)。

3 基于脑机接口的赛博格竞技的衍生风险

3.1 基于脑机接口的赛博格竞技可能衍生的伦理失衡风险

3.1.1 竞技公平的失衡风险

第一,技术类型差异。依据技术而获得的不公平优势会损害竞技的公正性^[54]。不同技术类型的脑机接口在信号采集、解码效率和操作精度上存在差异,在竞技场景中这些差异可能会导致竞技公正的失衡。其中较为典型的差异是侵入式脑机接口与非侵入式脑机接口之间的差异。前者直接将传感器植入大脑皮层,能更精准和全面捕捉神经元释放的

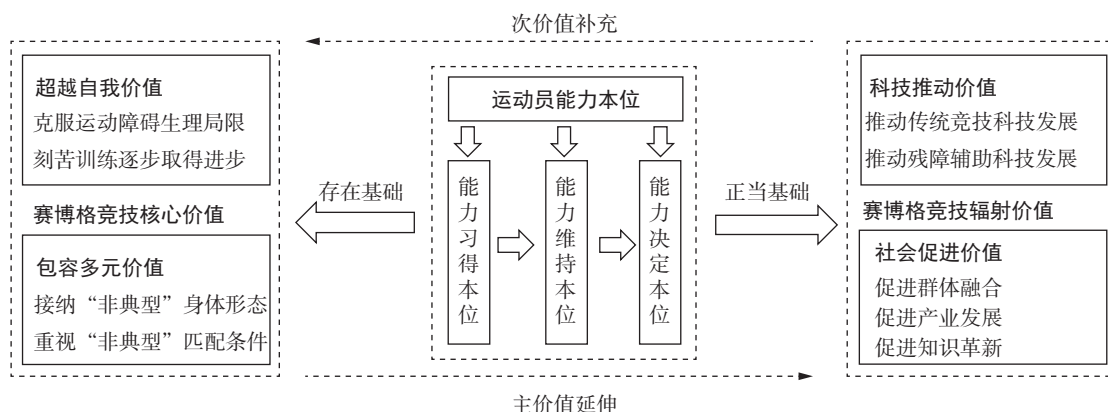


图2 基于脑机接口的赛博格竞技的价值蕴含

Fig.2 The value implications of cyborg competition based on brain-computer interfaces

电信号,其在赛博格竞技中的应用效果要明显优于后者。2024年以前举办的赛博格奥运会脑机接口竞赛不允许使用侵入式脑机接口,随着该技术近年来的不断进步,2024脑机接口赛已正式放开该技术的使用限制,之后可能还会允许使用半侵入式、介入式脑机接口。

第二,技术可靠差异。不同脑机接口技术之间的可靠性并不相同。其中较为典型的是信噪比差异。信噪比(signal-to-noise ratio)是影响脑机接口技术应用的关键因素,其噪声部分包括所有与区分脑机接口控制特定心理任务反应无关的信号,而脑机接口技术的速度和可靠性往往取决于信噪比^[55]。信噪比越高,信号质量越好^[56]。当使用信噪比较小的低端传感器时,在采集到脑神经信号的同时,还会采集到肌电信号等无关信号^[57]。类似设备采集到的数据并不能准确反映用户的运动意图,可能导致运动员在赛博格竞技中处于天然劣势。

第三,技术更新差异。脑机接口属于更新换代频繁的技术,不同代际的技术无论是硬件设备还是智能算法都存在明显差异。赛博格竞技有着超出一般体育赛事的意义,可能被用作某些迭代脑机接口技术的“应用试验场”^[58]。最新迭代的脑机接口技术对参赛团队具有较强的吸引力。如果某团队在赛事期间引入了最新升级技术,例如应用解码率更高的大语言模型算法、使用传输效率更高的采集器芯片等,而其他团队若未能及时跟进,将导致竞技双方在技术层面形成代差,破坏赛事公平性。

3.1.2 竞技包容的失衡风险

第一,基于资源获取的歧视。一项研究指出,脑机接口产品成本较高,其在资源受限地区的可及性

相对不足,可能造成不同地区和群体间的技术获取不平等^[59]。经济发展差异是造成这种偏差的重要原因。作为一种由多种前沿技术耦合而成的技术体系,脑机接口技术的应用需要持续投入资金,以对大量设备进行更新和维护。因此,可以说脑机接口技术的获取与个体、团队或国家的经济基础直接挂钩。这意味着先进的脑机接口技术设备往往会被“富人”使用,而使用相对落后技术的用户可能被贴上“穷人”的标签。

第二,基于匹配结果的歧视。当下脑机接口技术仍处于发展初期,存在不稳定且操作复杂等问题。有研究在进行脑机接口实验时发现,在执行任何任务的过程中,15%~30%的人无法产生足够稳健的EEG信号^[51]。即使经过培训,一些脑机接口用户也无法按照预期来操作系统^[60]。这种现象被称为“BCI文盲”(BCI Illiteracy)。尤其是在运动想象脑机接口中,多项试验研究表明,脑机接口技术在运动想象中适用的准确率分别为71.1%(±0.15)^[61]、67.4%(±13.7)^[62]、低于70%^[63]。这意味着虽然许多严重运动障碍者期待使用脑机接口技术参与赛博格竞技,但其中有些人可能因为生理或操作等因素而无法成功使用该技术,这部分人很可能被贴上“BCI文盲”的标签。

第三,基于算法分析的歧视。算法本身被人为预设了某种价值立场或偏见,将其运用于体育活动可能会导致对参与者的某种歧视^[64]。脑机接口技术内含的算法旨在对采集到的脑信号进行解码,分析出用户所要表达的意图。这种算法通过对特定群体神经信号数据的训练获得,一旦用户的神经信号与这些用于训练的神经信号存在差异,则会导致算

法对用户意图的偏见性解读。在赛博格竞技中,如果脑机接口技术的算法训练数据集来源于男性群体,当女性用户使用该系统时,算法可能会偏颇地解读用户的运动意图,进而导致其竞技表现不佳。

3.2 基于脑机接口的赛博格竞技可能衍生的身心异化风险

3.2.1 赛博格运动员身体异化风险

第一,机能退化风险。严重运动障碍者自主运动能力本就有限,脑机接口技术在赛博格竞技中的应用或加速其残存运动机能的退化。脑机接口通过构建人机深度连接,使运动员获得新的身心体验^[65],运动想象脑机接口是赛博格竞技中的主流,其典型的场景是:运动员头戴脑电帽,想象左右手运动发出脑机信号,信号被采集并识别出运动意图,进而生成运动指令控制虚拟肢体完成相应动作。严重运动障碍者可借助该技术靠意志控制外部设备(如驱动轮椅、操纵机械臂)完成训练与比赛,但长期使用可能会使其下意识减少对微弱肢体机能的运用,进而导致残留机能衰退。部分既有赛事规则中对于残余肢体使用的限制也会加剧这种风险。例如,《赛博格赛事与规则》规定,禁止在脑机接口竞赛中通过眼部控制、面部肌肉控制或任何其他随意肌活动生成控制指令。

第二,反应固化风险。事实上,在脑机接口赛博格竞技中,为更好地比拼运动员的技能,大多数参赛的脑机接口设备是为特定的比赛任务专门打造的。参赛团队提前数月便知晓障碍布局或赛道详情,并以此为背景设计设备。运动员在该设备的辅助下,围绕解决任务挑战的专项技能展开针对性训练^[37]。如果经年累月地进行这种高度适配单一任务的专项训练,可能会使运动员形成单一的脑机协同反应模式,进而让大脑对设备的信号输出与反馈响应形成某种路径依赖。但是,在日常生活中,环境更加多样化且非结构化程度更高^[6]。无论是使用既有的脑机接口设备还是更换新设备,这种固化的神经反应链路都可能无法有效应对多变的现实环境。

3.2.2 赛博格运动员心理异化风险

第一,情感寄托风险。运动员在脑机接口赛博格竞技中获得了全新的生命体验。通过运用脑机接口技术,得以克服身体或意志上的制约,在真实或虚拟场景中完成原本不可能完成的动作。在比赛任务

中,运动员沉浸地体验真实的竞技参与感,并且在每一次对外部设备的操控中获得可能从未有过的掌控感和成就感。然而,脑机接口设备通常不属于运动员,一旦比赛结束,设备就会被收回。一些运动员可能会难以从这种全新生命体验中抽离出来,严重的可能会引发心理问题。一项针对多名脑机接口用户的调研显示,一些用户在使用了一段时间后,同设备建立了“情感连接”,将设备视为“同事”“友好的助手”甚至是“身体的一部分”,当设备被收回后,有的用户陷入强烈的负面情绪中^[66]。

第二,自我怀疑风险。在赛博格竞技中,脑机接口技术熟练使用能力的获得和维持需要经过长时间的训练和调整。在这个过程中,运动员将遇到诸多挑战,这些挑战会打击其自信心,可能导致其陷入自我怀疑的心理状态。例如,目前的脑机接口解码算法仅能解析少部分神经活动模式,解码模型的泛化能力不足,且需要受试者长期训练和高度专注才能产生稳定信号^[67]。用户在初始使用脑机接口设备的一段时间内,很可能会难以形成有效的输出信号,进而会产生巨大的挫败感。再如,当脑机接口设备接收到的指令数量越多时,用户的训练时间也会越长^[52]。在与之类似的神经反馈训练(NFT)中,可行的方案是先进行简单的训练,然后逐渐增加训练难度。如果初始方案难度过高,参与者的自信心很容易受挫,导致他们过早放弃训练或对自己产生怀疑^[68]。对于赛博格运动员,如果训练方案不得当或者自行进行训练,将不可避免地产生挫败情绪。

3.3 基于脑机接口的赛博格竞技可能衍生的权益受损风险

3.3.1 赛博格运动员数据权益受损风险

在赛博格竞技中,脑机接口运作的基础是对运动员神经数据的采集、分析和反馈。一类是作为主体数据的神经数据。这类数据在一定条件下不仅能反映用户的大脑活动模式、思维习惯,甚至能间接推断出用户的情绪状态、注意力集中度等深层特征^[69],具有高度隐秘性。另一类是日常数据,脑机接口在使用中还会顺带收集并整合大量日常数据,可能包括如厕、性行为、教养子女、抚慰亲人等个人私密数据^[70]。尤其是在使用可以持续不断收集神经数据的被动脑机接口时,数据可能面临泄露、滥用等风险。脑机接口技术在赛博格竞技中生成的数据

集属于优质数据集,这使其面临较高的数据泄漏风险。大多数受访的脑机接口公司会与第三方共享数据,尤其是与研究机构共享数据^[71]。在共享过程中,很可能会出现未经运动员同意、超出运动员同意范围或未对数据进行彻底脱敏的情况,使运动员隐私权和个人信息权遭受侵犯。

3.3.2 赛事相关者安全权益受损风险

首先,赛博格运动员的安全权益可能面临受损风险。侵入式脑机接口通过植入运动员大脑的微小电极来记录单个神经元活动,但电极、电源及数据处理等部件存在多重安全风险,如手术风险、兼容性差、使用耐久性不足、对神经变化的影响及技术迭代带来的过时等问题,同时有线设备接触组织可能引发皮肤腐蚀和骨骼异常生长^[70]。在赛博格竞技中,运动员为取得更好的成绩可能会采用侵入式脑机接口,从而面临上述风险。非侵入式脑机接口一般通过头皮电极记录运动员大脑表层神经元的集体活动,虽然相对于侵入式更安全,但也可能带来身体危害。如非侵入式脑机接口用于采集脑电信号的电极帽如果清洁不及时,可能会滋生细菌,长期通过凝胶佩戴还可能引发皮肤炎症或过敏等。

其次,竞技赛场上的技术人员、工作人员、观众等赛事相关者可能会因脑机接口技术失灵或失控而受到伤害。脑机接口作为一个复杂的多技术合成系统,需要多个子系统和子设备共同协作以实现用户意志的精准表达和执行。在赛博格竞技中,某些意外或人为因素的介入可能会导致脑机接口面临功能失灵风险。例如,在2016年首届赛博格奥运会脑机接口竞赛中,一名运动员的脑机接口系统出现了短暂失控,由于此次比赛为虚拟竞技,因此系统的失控只影响了最终成绩^[72]。如果是涉及操纵机械设备的现实竞技,脑机接口的失控则有可能对运动员或他人带来伤害。此外,已有实验研究证明,黑客可以通过无线方式攻击脑机接口系统,进而干扰系统的正常运作^[73]。这表明脑机接口有可能会被黑客远程操纵,进而对赛场上的人员造成伤害。

4 基于脑机接口的赛博格竞技的治理路径

4.1 伦理失衡风险的原则治理

4.1.1 竞技公平失衡风险的原则治理

第一,技术近似原则。该原则通过确保同场竞

技者使用的脑机接口技术、性能等处于近似区间,从源头消除技术类型差异对竞技公正的影响。基于该原则,一方面,应将存在明显差异的脑机接口技术分组比赛。未来,可以按照技术类型将赛事划分为“侵入式脑机接口竞技组”“半侵入式脑机接口竞技组”“介入式脑机接口竞技组”和“非侵入式脑机接口竞技组”。另一方面,对于同一技术类型,应进一步明确信号采集、信号解码等脑机接口核心性能的标准区间,通过赛前设备检测确保同组选手技术性能近似。

第二,最低训练时长原则。“最低训练时长原则”的核心是通过设定统一的最低脑机接口操作训练时长,进而对设备的可靠性进行检验和调试。在正式参加赛博格竞技之前,选手都会接受一定训练。例如,《赛博格赛事与规则》规定,团队必须在竞赛前为“领航员”提供充分的竞赛任务培训,确保其熟悉各项任务。训练期间需全程记录设备信噪比、信号干扰频次等数据,并作为参赛资格审核的核心依据。不同组别的最低训练时长由组委会、技术专家及参赛方共同议定,兼顾成本考量,确保规则公平可行。

第三,技术限定更新原则。技术限定更新原则的核心是不能为追求竞技效果而过度更新脑机接口技术。这主要是为了防止频繁更新导致不同参与者所使用的脑机接口出现显著技术差异,以保障训练的公平性和连贯性,同时避免因频繁更新导致不成熟技术的介入而引发系统失灵风险。此外,赛前应公开所有参赛设备的核心性能参数,接受参赛各方和公众的监督。

4.1.2 竞技包容失衡风险的原则治理

第一,公益普惠原则。基于脑机接口的赛博格竞技有必要成为一项面向严重运动障碍者的特殊体育基本公共服务。普惠性是建设体育公共服务核心理念^[74]。所有严重运动障碍者都有权利享受此服务。应建立由政府、企业和残疾人组织共同出资的人机竞技基金,采购多种脑机接口设备,以共享形式鼓励严重运动障碍者参与体育竞技。采购设备需涵盖适合较多用户的通用型设备和针对少数用户的定制化设备,以保障不同身体状况的用户都能获得适配设备。

第二,充分释明原则。脑机接口技术复杂,并非适用于所有人^[36]。“BCI文盲”这个概念建立在一

个错误的假设之上,即BCI用户具有某些生理或功能特征,导致他们在使用脑机接口时无法熟练操作。事实上,“BCI文盲”源于当前使用技术本身的不足,而非参与者自身能力存在缺陷。因而,这本质上是一个技术性问题,将随着脑机接口技术的不断发展得以解决。也就是说,这些暂时不能使用特定脑机接口(主要指运动想象脑机接口)的严重运动障碍者在将来也可以参加脑机接口赛博格竞技。对此,应通过充分的告知和讲解让观众、赛事方、运动员等正确认知“BCI文盲”概念,避免陷入偏见认知。

第三,算法合规原则。为避免脑机接口算法可能被人为预设偏向特定立场,或因训练数据局限于特定群体,导致对选手脑电信号的解读偏差,应通过以下3方面设定合规标准:一是明确算法开发规范,禁止预设群体偏向并进行专门机构审查;二是设置单一群体数据占比阈值,强制训练数据多元化;三是建立跨性别解码准确率测试机制,存在较大误差时及时追溯修正。

4.2 身心异化风险的制度治理

4.2.1 身体异化风险的“分级—动态”制度治理

第一,“机能分级”制度。对于仍能进行部分肢体活动的高残存机能的群体,应提倡参加以“身体大脑共同主导”为竞技逻辑的比赛。例如,大脑负责决策操作目标与方向(如确定机械臂抓取位置、轮椅行进路线),身体负责通过肢体动作执行运动指令(如腿部被电刺激后完成相应动作、用残存手臂调整操作幅度)。对于几乎难以进行肢体活动的低残存机能群体,应提倡参加以“身体配合大脑主导”为竞技逻辑的比赛。例如,大脑通过运动想象确定核心决策(如在虚拟竞技中确定行进路径和目标),身体以残留动作(如眼球转动、手指微动)触发指令辅助决策(如紧急制动指令)落地。

第二,“任务动态”制度。该制度需要避免完全结构化的固定任务模式,应参照日常生活中不断变化、无法预测的真实场景,引入半结构化的动态任务。动态任务的核心目标与固定任务相同,但比赛过程中的关键变量(如障碍物的位置、数量等)应随机化设置,不应提前告知参赛团队。例如,在脑控轮椅竞赛中,打破“固定路线、固定障碍、固定规则”的结构化限制,模拟日常出行的随机性,不同障碍物的数量、位置、间距由计算机随机生成,而且同一赛道

在不同回合中的障碍组合不应重复。当然,这种动态任务的设计和开展,必须建立在足够完善的安全保障机制之上。

4.2.2 心理异化风险的“支持—跟进”制度治理

第一,赛博格运动员心理支持制度。首先,根据赛事的不同,要求为每位运动员配备专属或共享的心理支持团队,及时关注运动员是否可能存在情感寄托、自我怀疑等问题,发现问题应及时介入干预。其次,残疾人介入体育活动需要经过专门的培训和指导^[75]。赛博格竞技更是如此,尤其是对运动员的心理培训。相关心理培训可与技术培训相结合。例如,在技术培训中同步讲解“技术工具属性”,避免运动员将自我价值与设备绑定,在安全培训中加入“失败心理调适”内容,让运动员学会正确看待训练失误等。最后,定期组织“经验分享会”,鼓励运动员交流心理调适方法。

第二,赛博格运动员心理跟进制度。首先,特定情形跟进。赛博格竞技结束后,考虑到费用、安全、性能等因素,脑机接口设备可能会被收回。因此,需要持续关注严重运动障碍者的心理变化。例如,是否因“技术失去”而引发强烈的失落感、是否因过度追求使用脑机接口技术产生的病理性执念等,如发现问题应及时介入干预。其次,长期回访跟进。建立专门的心理救济渠道,简化救济流程,运动员可通过电话、网络等多种方式就心理问题进行咨询和疏导。并对此类运动员进行持续回访,确认心理诊疗的实际效果。

4.3 权益受损风险的法律治理

4.3.1 赛博格运动员数据权益受损风险的法律治理

在赛博格体育竞技等脑机接口技术的实践应用场景中,涉及运动员大脑和心智的数据已成为法律保护的重心,但传统数据权利体系难以对其实现周延保护。现有的公民个人信息权、隐私权等权利,无法成为保护赛博格运动员数据的主要规范基础。原因在于该数据深度关联运动员的内心思想和精神隐私,其合法使用的前提必须建立于运动员对自身精神领域的完全支配之上,唯有如此,赛博格运动员让渡的部分脑神经数据权利才具备正当性。基于此,应承认“神经权利”(Neurorights),其涵盖思想自由、精神隐私、精神完整和心理连续等内容^[76]。在脑机接口技术不断发展的背景下,唯有明确这一权利,才

能为赛博格运动员的脑神经数据提供适配其特性的基本保护。

基于该神经权利,首先,赛博格运动员在使用脑机接口时应当自愿签署脑机通信协议和数据授权协议。其中,前者是将人类用户高级行动意图的识别及其具体执行的控制权委托给计算机系统^[77],后者是明确划定用户包括神经数据和衍生数据等在内的脑机数据的使用范围。例如,仅用于竞技分析、禁止商业用途等。在赛博格竞技实践形态多样化的背景下,也可达成口头协议,但需全程录像。其次,相比于生物识别和通信数据等的监管,对脑机接口数据的监管更加严格^[69]。应创新脑机接口数据的流转防护和溯源技术。例如,汗(Khan)等人提出了一种基于区块链的脑机接口运行框架,可为脑机接口数据的全程流转提供可信溯源,同时仅允许经管理员验证的利益相关者访问流转记录,保障溯源过程的私密性^[78]。最后,相关数据需同时满足赛博格运动员授权、科学目的和不可替代三重条件,才能被共享,且共享流程应被全程追溯。此外,需要明确不同类型数据的销毁时效,采取物理上的彻底销毁,而非表面上的信息脱敏销毁,并保障赛博格运动员对销毁过程的知情权。

4.3.2 赛事相关者安全权益受损风险的法律治理

第一,事前合规治理。为预防赛事相关者安全权益受损,应依据人身权利保护要求与安全保障义务,开展安全合规审查。① 运动员适配性合规审查。由相关专家小组结合医学诊断结果和安全评估报告,从生理、心理两个维度,判断运动员对侵入式、非侵入式等脑机接口技术潜在风险的耐受能力,确保达到安全参与赛事的标准。② 脑机接口设备合规审查。依据《脑机接口研究伦理指引》《人—非人动物嵌合体研究伦理指引》等伦理指引,并结合《医疗器械监督管理条例》等条例,以及未来可能制定的有关脑机接口安全应用的管理规范,审查脑机接口硬件的性能安全性和软件的风险防控体系,确保设备符合安全运行标准。③ 赛场环境应急合规审查。审查赛场的电磁屏蔽措施和机械设备紧急制动装置,确保能应对设备信号干扰、失控等突发情况。同时制定赛事应急处置方案,明确应急响应流程。

第二,事后制裁治理。明晰各方责任是解决脑机接口致损问题的关键^[36]。① 明确设备商的责任

范围。设备商需对其生产、销售和服务的脑机接口硬件和软件设备的技术安全性承担责任,若因设备硬件缺陷或软件失灵等问题导致运动员或其他人身体损害,需承担相应责任。② 明确组织者的责任范围。赛事组织者对赛事过程中脑机接口技术应用的安全管理负有责任,若因未制定完善的设备准入安全标准、现场技术保障不足而未能及时处理设备突发故障,导致运动员或其他人受伤,需承担相应责任。③ 明确第三者的责任范围。团队内成员、观众等第三者需对造成运动员或其他人人身伤害的特定情形承担法律责任。例如,技术专家通过非法手段干扰对手脑机接口设备的正常运行并致其受伤,观众在现场通过强电磁设备干扰运动员脑机接口信号的传输并致其受伤等。④ 明确运动员的责任范围。运动员在参与竞技的过程中,因自身过失行为导致他人人身伤害的情形需承担责任。例如,指示他人擅自拆卸、改装设备,导致设备功能异常,引发他人受伤等。上述责任若造成人身损害,可依法追究其民事责任。若造成严重人身损害等后果,可追究其刑事责任。

5 结语

快速的技术进步正在创造新的体育实践和体育赛事,观众在其中既会遇到后人类的现实,也会遇到后人类的想象^[27]。基于脑机接口的赛博格竞技是我们对特殊体育竞技未来形态的典型想象。严重运动障碍者借助脑机接口技术,有望克服生理局限站上竞技舞台。但与此同时,如何平衡脑机接口技术的价值与风险,是当前推进脑机接口技术在赛博格竞技中应用的核心问题。研究尝试从原则、制度和法律层面予以回应。未来期待能结合更多实践案例,进一步完善治理框架,让脑机接口技术更好地释放赛博格竞技的正向价值,推动特殊体育竞技健康发展。

参考文献:

- [1] TREZZINI B, BRACH M, POST M, et al. Prevalence of and factors associated with expressed and unmet service needs reported by persons with spinal cord injury living in the community[J]. Spinal Cord, 2019, 57(6): 490-500.
- [2] MILLAN J D R, RUPP R, MUELLER-PUTZ G R, et al. Combining brain-computer interfaces and assistive technologies: State-of-the-art and challenges[J]. Frontiers in Neuroscience, 2010, 4: 161.

- [3] 周姝芸. 中国首例侵入式脑机接口临床试验成功——意念下棋科幻成真[N]. 人民日报·海外版, 2025-07-23(010).
- [4] 曲忠芳. 中美两国领跑脑机接口“路线图”逐渐清晰[N]. 中国经营报, 2025-07-07(C01).
- [5] 陶炜. 用意念驱动轮椅, 未来科技运动会宣告“未来已来”[EB/OL]. (2024-11-30) [2025-11-21]. https://t.10jqka.com.cn/pid_406080092.shtml.
- [6] JAEGER L, BAPTISTA R D S, BASLA C, et al. How the Cybathlon competition has advanced assistive technologies[J]. *Annual Review of Control Robotics and Autonomous Systems*, 2023, 6: 447-476.
- [7] 钟蕾蕾. 一文了解中国残疾人数量和残疾人事业统计调查制度[EB/OL]. (2024-05-17) [2025-07-15]. https://topics.gmw.cn/2024-05/17/content_37329070.htm.
- [8] 阚纯裕. 一线调查! 瘫痪者、失明者的“救命稻草”? 脑机接口门诊爆满背后的真相[EB/OL]. (2025-08-11) [2025-09-25]. <https://news.cctv.com/2025/08/11/ARTI2MJvz10hQuQJgkTwDC8r250811.shtml>.
- [9] KING B J, READ G J, SALMON P M. The risks associated with the use of brain-computer interfaces: A systematic review[J]. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 2024, 40(2): 131-148.
- [10] BUBLITZ C, WOLKENSTEIN A, JOX R J, et al. Legal liabilities of BCI-users: Responsibility gaps at the intersection of mind and machine? [J]. *International Journal of Law and Psychiatry*, 2019, 65: 101399.
- [11] HE B, YUAN H, MENG J, et al. Brain-computer interfaces[M]//HE B. *Neural engineering*. Cham: Springer International Publishing, 2020: 131-183.
- [12] KÖGEL J, WOLBRING G. What it takes to be a pioneer: Ability expectations from brain-computer interface users[J]. *NanoEthics*, 2020, 14(3): 227-239.
- [13] ZÜRICH E T H. Cybathlon[EB/OL]. [2025-07-15]. <https://cybathlon.com/en>.
- [14] TURGEON S. Team from Pitt's Rehab Neural Engineering Labs takes home a gold medal in the 2024 Cybathlon[EB/OL]. (2024-11-19) [2025-11-23]. <https://www.Health.Pitt.Edu/news/team-pitt-s-rehab-neural-engineering-labs-takes-home-gold-medal-2024-Cybathlon>.
- [15] MAISELI B, ABDALLA A T, MASSAWE L V, et al. Brain-computer interface: Trend, challenges, and threats[J]. *Brain Informatics*, 2023, 10(1): 20.
- [16] MACKENZIE D. The Cybathlon: Bionic athletes compete for the gold-and push assistive technologies forward[EB/OL]. (2024-10-16) [2025-11-24]. <https://knowablemagazine.Org/content/article/technology/2024/Cybathlon-competition-bionic-athletes-use-assistive-tech>.
- [17] SALAHUDDIN U, GAO P X. Signal generation, acquisition, and processing in brain machine interfaces: A unified review[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2021, 15: 728178.
- [18] ATILLA F, POSTMA M, ALIMARDANI M. Gamification of motor imagery brain-computer interface training protocols: A systematic review[J]. *Computers in Human Behavior Reports*, 2024, 16: 100508.
- [19] NOVAK D, SIGRIST R, GERIG N J, et al. Benchmarking brain-computer interfaces outside the laboratory: The Cybathlon 2016[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2018, 11: 756.
- [20] JIANG L, STOCCO A, LOSEY D M, et al. Brainnet: A multi-person brain-to-brain interface for direct collaboration between brains[J]. *Scientific Reports*, 2019, 9(1): 6115.
- [21] STOCCO A, PRAT C S, LOSEY D M, et al. Playing 20 questions with the mind: Collaborative problem solving by humans using a brain-to-brain interface[J]. *Plos One*, 2015, 10(9): e0137303.
- [22] PRAPAS G, ANGELIDIS P, SARIGIANNIDIS P, et al. Connecting the brain with augmented reality: A systematic review of BCI-AR systems[J]. *Applied Sciences-Basel*, 2024, 14(21): 9855.
- [23] JAYARAJ L, WOOD J, REIFER A, et al. Experience in a VR cricket game using brain computer interaction (BCI) [C]//2025 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and eXtended and Virtual Reality (AIxVR). IEEE, 2025: 248-251.
- [24] ELDAWLATLY S. On the role of generative artificial intelligence in the development of brain-computer interfaces[J]. *BMC Biomedical Engineering*, 2024, 6: 4.
- [25] JEBARI K. Brain machine interface and human enhancement-An ethical review[J]. *Neuroethics*, 2013, 6(3): 617-625.
- [26] 郭倩. BCI脑控机器人大赛: 推动脑控技术应用发展[EB/OL]. (2025-08-12) [2025-11-24]. <https://news.cctv.cn/2025/08/12/ARTIPuX1zK1VzsTS8eBeIxz0250812.shtml>.
- [27] BARKER N, PARKER H. Hybrid performances in sport: Cybathlon spectatorship for critically imagining technologies for disability futures[J]. *Medical Humanities*, 2024, 50(4): 657-669.
- [28] HOWE P D, SILVA C F. The cyborgification of paralympic sport[J]. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, 2017, 97(3): 17-25.
- [29] DOLAN J. The world's first Cybathlon[EB/OL]. (2016-12-01) [2025-11-25]. <https://nuvomagazine.Com/magazine/winter-2016/the-worlds-first-Cybathlon>.
- [30] FREVEL N, BEIDERBECK D, SCHMIDT S L. The impact of technology on sports-A prospective study[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, 182: 121838.
- [31] GOODLEY D, LAWTHOM R, RUNSWICK COLE K. Posthuman disability studies[J]. *Subjectivity*, 2014, 7(4): 342-361.
- [32] LE DÉVÉDEC N. La société de l'amélioration: Le renversement de la perfectibilité humaine, de l'humanisme des lumières à l'humain augmenté[D]. Rennes 1, 2013.
- [33] 王涛. 体育的本体论困境与非理性动因——一种本质主

- 义的反思与探究[J]. 体育学研究,2024,38(1): 92-101.
- [34] LOLAND S. Classification in sport: A question of fairness[J]. *European Journal of Sport Science*, 2021, 21(11): 1477-1484.
- [35] RICHARD R, ISSANCHOU D, FERREZ S. Fairness, regulation of technology and enhanced human: A comparative analysis of the pistorius case and the Cybathlon[J]. *Sport, Ethics and Philosophy*, 2021, 15(4): 507-521.
- [36] MCCULLAGH P, LIGHTBODY G, ZYGIEREWICZ J, et al. Ethical challenges associated with the development and deployment of brain computer interface technology[J]. *Neuroethics*, 2014, 7(2): 109-122.
- [37] MEYER J T, WEBER S, JÄGER L, et al. A survey on the influence of Cybathlon on the development and acceptance of advanced assistive technologies[J]. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 2022, 19(1): 38.
- [38] 黄莉. 中华体育精神助推人类命运共同体构建的学理基础与实践路向[J]. *北京体育大学学报*, 2024, 47(8): 23-34.
- [39] GALLAGHER J. Paralyzed man moves in mind-reading exoskeleton[EB/OL]. (2019-10-04) [2025-09-13]. <https://www.bbc.com/news/health-49907356>.
- [40] HEHENBERGER L, KOBLER R J, LOPES-DIAS C, et al. Long-term mutual training for the Cybathlon BCI race with a tetraplegic pilot: A case study on inter-session transfer and intra-session adaptation[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2021, 15: 635777.
- [41] KORIK A, MCCREADIE K, MCSHANE N, et al. Competing at the Cybathlon championship for people with disabilities: Long-term motor imagery brain-computer interface training of a cybathlete who has tetraplegia[J]. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation*, 2022, 19(1): 95.
- [42] 张韬磊, 吴燕丹. 残疾人体育包容性发展的学理内核、本土逻辑及结构调整[J]. *中国体育科技*, 2023, 59(9): 41-45, 88.
- [43] 郝东方. 论身体能动性 with 体育基本理论问题[J]. *体育科学*, 2024, 44(5): 32-39, 53.
- [44] 郭江浩, 熊文. 体育教育领域中的人工智能: 内涵阐释、伦理风险与纾解之策[J]. *体育学研究*, 2025, 39(2): 21-31.
- [45] AAS S, WASSERMAN D. Brain-computer interfaces and disability: Extending embodiment, reducing stigma? [J]. *Journal of Medical Ethics*, 2016, 42(1): 37-40.
- [46] RICHARD R, ANDRIEU B. The Cybathlon experience: Beyond transhumanism to capability hybridization[J]. *Journal of the Philosophy of Sport*, 2019, 46(1): 49-62.
- [47] ROBÈNE L. Technologies et techniques des sports: Le regard de l'histoire et des sciences humaines et sociales[J]. *Movement & Sport Sciences-Science & Motricité*, 2017, 97(3): 1-7.
- [48] BORISOV V, SYSKOV A, KUBLANOV V. Functional state assessment of an athlete by means of the brain-computer interface multimodal metrics[C]// *World Congress on Medical Physics and Biomedical Engineering Prague, Czech Republic*; Springer, 2018: 71-75.
- [49] ALIMARDANI M, HIRAKI K. Passive brain-computer interfaces for enhanced human-robot interaction[J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2020, 7: 125.
- [50] 窦皓. 用仿生手弹琴打字 靠仿生腿攀岩冲浪[N]. *人民日报*, 2025-2-20(15).
- [51] YADAV H, MAINI S. Electroencephalogram based brain-computer interface: Applications, challenges, and opportunities[J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2023, 82(30): 47003-47047.
- [52] PEKSA J, MAMCHUR D. State-of-the-art on brain-computer interface technology[J]. *Sensors*, 2023, 23(13): 6001.
- [53] 林姿辰. 脑机接口大赛15年: 设备从“推车”变“戴帽”何时走向“人机双向沟通”? [EB/OL]. (2025-8-11) [2025-11-26]. <https://www.Nbd.Com.Cn/articles/2025-08-11/4008442.Html>.
- [54] 孙遥. 反技术兴奋剂规范的法理基础、逻辑补位与体系构建[J]. *上海体育大学学报*, 2024, 48(6): 27-38.
- [55] VLEK R J, STEINES D, SZIBBO D, et al. Ethical issues in brain-computer interface research, development, and dissemination[J]. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 2012, 36(2): 94-99.
- [56] KAWALA-STERNIUK A, BROWARSKA N, AL-BAKRI A, et al. Summary of over fifty years with brain-computer interfaces—A review[J]. *Brain Sciences*, 2021, 11(1): 43.
- [57] VAN ERP J, LOTTE F, TANGERMANN M. Brain-computer interfaces: Beyond medical applications[J]. *Computer*, 2012, 45(4): 26-34.
- [58] 曹森欣. 瑞士驻华大使馆举行走近全球辅助技术奥运会活动[EB/OL]. (2023-10-25) [2025-11-27]. <https://www.chinanews.com/gn/2023/10-25/10100577.shtml>.
- [59] SUN X Y, YE B. The functional differentiation of brain-computer interfaces (BCIs) and its ethical implications[J]. *Humanities and Social Sciences Communications*, 2023, 10: 878.
- [60] THOMPSON M C. Critiquing the concept of BCI illiteracy[J]. *Science and Engineering Ethics*, 2019, 25(4): 1217-1233.
- [61] LEE M-H, KWON O-Y, KIM Y-J, et al. EEG dataset and openBMI toolbox for three BCI paradigms: An investigation into BCI illiteracy[J]. *GigaScience*, 2019, 8(5): giz002.
- [62] CHO H, AHN M, AHN S, et al. EEG datasets for motor imagery brain-computer interface[J]. *GigaScience*, 2017, 6(7): gix034.
- [63] AHN M, CHO H, AHN S, et al. High theta and low alpha powers may be indicative of BCI-illiteracy in motor imagery[J]. *Plos One*, 2013, 8(11): e80886.
- [64] 覃立, 刘青, 尹志华. 体育人工智能伦理风险检视及其纾解探径[J]. *成都体育学院学报*, 2025, 51(1): 34-41.
- [65] KOEGEL J, SCHMID J R, JOX R J, et al. Using brain-

- computer interfaces: A scoping review of studies employing social research methods[J]. *Bmc Medical Ethics*, 2019, 20: 18.
- [66] KÖGEL J, JOX R J, FRIEDRICH O. What is it like to use a BCI? -Insights from an interview study with brain-computer interface users[J]. *Bmc Medical Ethics*, 2020, 21(1): 2.
- [67] 杨赐然, 王守岩. 脑机接口的发展现状与未来展望[N]. *学习时报*, 2025-10-15(6).
- [68] GONG A, GU F, NAN W, et al. A review of neurofeedback training for improving sport performance from the perspective of user experience[J]. *Frontiers in Neuroscience*, 2021, 15: 638369.
- [69] 张民兴. 运动员脑机生成数据的风险检视与软法因应[J]. *上海体育大学学报*, 2026, 50(4): 76-87.
- [70] KLEIN E. Informed consent in implantable BCI research: Identifying risks and exploring meaning[J]. *Science and Engineering Ethics*, 2016, 22(5): 1299-1317.
- [71] YANG H, JIANG L. Regulating neural data processing in the age of BCIs: Ethical concerns and legal approaches[J]. *Digital Health*, 2025, 11: 1-19.
- [72] PERDIKIS S, TONIN L, SAEEDI S, et al. The Cybathlon BCI race: Successful longitudinal mutual learning with two tetraplegic users[J]. *Plos Biology*, 2018, 16(5): e2003787.
- [73] ARMENGOL-URPI A, KOVACS R, SARMA S E. Brain-Hack: Remotely injecting false brain-waves with RF to take control of a brain-computer interface[C]//*Proceedings of the 5th Workshop on CPS&IoT Security and Privacy*. New York: ACM, 2023: 53-66.
- [74] 童超, 潘加文, 肖毅. 全民健身基本公共服务与普惠性公共服务: 理论之辩与实践反思[J]. *体育学研究*, 2024, 38(2): 95-105.
- [75] 鲁城, 吴燕丹, 郑程浩. 包容性发展理念下残疾人社会体育指导员培养管理的共建与共治[J]. *体育学研究*, 2024, 38(2): 83-94.
- [76] IENCA M. On neurorights[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2021, 15: 701258.
- [77] TAMBURRINI G. Brain to computer communication: Ethical perspectives on interaction models[J]. *Neuroethics*, 2009, 2(3): 137-149.
- [78] KHAN A A, LAGHARI A A, SHAIKH A A, et al. A blockchain security module for brain-computer interface (BCI) with multimedia life cycle framework (MLCF) [J]. *Neuroscience Informatics*, 2022, 2(1): 100030.

作者贡献声明:

郑润坤: 提出论文选题, 撰写、修改、校对论文; 张民兴: 设计研究框架, 撰写、修改论文; 罗公利: 指导论文框架, 修改论文。

Cyborg Competition Based on Brain-Computer Interfaces: Value Implications, Derivative Risks and Governance Pathways

ZHENG Runkun¹, ZHANG Minxing², LUO Gongli¹

(1. *College of Economics and Management, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China*; 2. *School of Law, Shandong University, Qingdao 266237, China*)

Abstract: Cyborg (an abbreviation of Cybernetic Organism) specifically refers to a hybrid entity formed by the combination of mechanical and other artificial technologies with the organic body. Cyborg competition based on brain-computer interfaces (BCIs) constitutes an emerging competitive paradigm tailored for individuals with severe motor disabilities. It is of significant academic and practical relevance to explore its value implications, derivative risks, and governance pathways. Research findings indicate that BCIs can sustainably empower cyborg athletes in both current and future contexts by adapting technical paradigms compatible with competitive scenarios and leveraging multi-technology coupling models. Concurrently, BCI technology will exert a dualistic impact on the sports domain. On the one hand, while upholding the principle of athlete-centric capability orientation, BCI-based cyborg competition not only encapsulates core competitive values, such as self-transcendence and pluralistic inclusion, but also embodies radiating values that encompass technological advancement and social facilitation. On the other hand, BCIs-based cyborg competition may engender multiple risks, including ethical disequilibrium, physical and mental alienation, and impairment of rights and interests. In response to these challenges, targeted governance should be implemented through principle-driven, institutional, and legal pathways, respectively.

Key words: brain-computer interface; cyborg competition; individuals with severe motor disabilities; technology empowerment; value of competitive sports; risk governance