

太空领域中的人类增强:伦理挑战及其规制研究

杨 琼

(云南师范大学 马克思主义学院,云南 昆明 650500)

摘要:人类增强是科技伦理学的热点之一。目前,学界将注意力聚焦在地球情景中的常规增强。倘若把视野扩展至太空,就会发掘人类增强的一个新的研究子领域:太空领域中的人类增强。太空领域中的人类增强绝非一个伪命题,为了成功执行太空任务,某些增强措施似乎是必要的。然而,太空领域中的人类增强会引发诸多伦理问题,既有治疗与增强划界的老问题,又催生了人类价值观念重塑和道德体系构建的新问题,这些可能会对道德直觉、伦理规范以及公共政策的制定产生重大影响,甚至可能冲击人类的价值体系。太空领域中的人类增强是一项充满未知挑战的议题,研究者们需集思广益,引导太空领域中的人类增强从理论走向实践、从规划走向落地,以助益航天事业稳健发展。

关键词:科技伦理学;人类增强;太空领域增强;伦理挑战;规制

[中图分类号]N01 [文献标识码]A [文章编号]1672-934X(2023)05-0024-08

DOI:10.16573/j.cnki.1672-934x.2023.05.004

On the Ethical Challenges and Their Regulation of Human Enhancement in Outer Space

Yang Qiong

(School of Marxism, Yunnan Normal University, Kunming, Yunnan 650500, China)

Abstract: Human enhancement is one of the hotspots in the field of ethics of science and technology, but scholars focus almost only on conventional enhancement on the earth. Changing sight from ground to outer space, we will discover a new research subfield of human enhancement: human enhancement in outer space, which is by no means a false proposition, and certain enhancements appear to be necessary for successful outer space missions. However, the human enhancement in outer space will cause many ethical issues, including not only the existing problems of delimitation between treatment and enhancement, but also such newly emergent problems as the reshaping of human values concept and the construction of moral system, which may significantly affect man's moral intuition, ethical rules, and the formulation of public policies, and may even strike man's value system. Human enhancement in outer space is an issue full of unknown challenges. Researchers are expected to brainstorm for guiding human enhancement in space from theory to practice and from planning to exercising, and helping the steady development of aerospace industry.

Key words: ethics of science and technology; human enhancement; enhancement in outer space; ethical challenge; regulation

收稿日期:2023-05-24

基金项目:国家社会科学基金重大项目(20&ZD044);国家社会科学基金项目(22VRC030)

作者简介:杨 琼(1991—),女,讲师,哲学博士,主要从事科学哲学研究。

20世纪60至70年代出现了一股太空^①探索的热潮,主要聚焦在“冷战”背景下的美苏两国太空领域的竞争。21世纪初,国家层面和企业层面的太空探索热情被重新点燃。随着太空任务的愈加频繁和项目深度的不断掘进,价格高昂的太空旅游已成为现实,人类甚至开始谋求移民外星球,这催生了许多新的有待研究的议题,其中一项就是太空领域中的人类增强。太空环境与地球环境迥然不同,对宇航员和外星球“移民者”而言,太空领域中的人类增强似乎多了一个合理的理由。无论太空任务是由政府主导还是企业赞助,都会面临一些共同的伦理问题。虽然人类增强技术在伦理上存有争议,但将其应用于未来人类深空飞行任务是必要的辅助措施。本文考察太空领域中人类增强的发展及其现实性问题,探讨载人太空任务,包括月球任务、火星任务和其他深空任务可能会出现的有关人类价值的新伦理议题,并就太空领域中的人类增强提出某些评价性的标准和具体的审查措施。

一、太空领域中的人类增强:一个新的研究领域

有关太空探索的伦理学讨论主要涉及当前太空探索领域所面临的问题和挑战,而太空领域中的人类增强是太空探索伦理学的重要领域,也属于未来学的研究范畴。

1985年,学者们开始把环境伦理学运用于太空,主要目的是考察探索太空的道德权利,即太空作为一种可供人类利用的工具价值等问题^[1]。伦理学家讨论了太空探索的理论基础和元伦理问题。关于伦理与价值之争影响到诸如人类在寻求太空避难或环境保护以及人类生存的价值等问题。太空伦理问题纷繁复杂,例如太空探索对人类健康和太空生命的风险、太空环境的污染与保护问题、清理太空碎片的责任、太空资源的开采权问题等。

人类历经了旷日持久的探月活动,取得了丰硕成果。由于月球距离地球相对较近,相比深空探索任务,月球探索难度要小得多。随着航空宇航科学与技术的日益进步,许多学者开始讨论火星试点任务和火星移民问题,还有企业在火星探测上进行了细致规划,尽管许多计划看起来像是科幻小说,但前往火星很可能成为人类下一阶段探索外太空的重要目标^[2]。这不仅仅是宇航科学家们的科研活动,也需要包括伦理学者在内的理论工作者的参与。伦理学者有必要与太空医学专家和宇航科学家们一起,确定深空探索领域的研究对象、远景规划,以应对其带来的伦理挑战。

即便技术问题在不久的将来能够得以攻克,但对于人类健康和生物学来说,仍然存在关键的文化、社会和伦理挑战,如果不加以讨论和解决,就可能导致任务失败,甚至带来一系列不可控的影响。航天事业的价值是毋庸置疑的,但其具有危险性且耗资巨大,如果遭遇重创,公众可能会对太空探索任务产生抵触情绪,从而阻碍未来太空探索的发展。

一些研究者视太空领域中的人类增强为一种人工的、快速的、可控的方式,以使人类适应新的太空环境。比如,用非人类物种的DNA增强人类,一般称为种间增强或种间基因工程。但人类基因工程有一些潜在的长期后果,如新人类物种的演化难题。太空领域中的人类增强除了与地球上的人类增强有一些共同的问题域外,还有其独特的研究视域和研究挑战。在太空探索伦理学和太空政策的大框架内,太空领域中的人类增强无疑是一个新兴领域,有深入探讨的价值和长期发掘的必要性。

太空领域中的人类增强所关联的伦理问题纷繁复杂,尤其是关涉人类健康和效益问题时。例如,从造福人类的角度来看,这些努力以何种方式得到回报?如何确保我们作出正确的决

定? 这些议题都是总括性的大问题,既是理论问题,也需要在航天实践中去评判。

太空领域中的人类增强绝非一个伪命题。例如,人类对火星等进行的太空任务可能需要增强人类能力。太空辐射、重力改变等危险存在的太空环境,将对宇航员在太空飞行、停留外星球期间产生不利影响。同时,宇航员因为缺乏定期的体育锻炼,在为期三年的火星任务中预计会失去 50% 的肌肉强度。在为期数月或数年的太空飞行中,宇航员面临的各种危险都会随着骨骼和肌肉力量的减少而增加,骨骼在没有重力的情况下会失去矿物质,骨骼密度每月下降 1% 以上,而地球上老年人每年才下降 1%—1.5%^[3]。最新研究报告指出,加拿大卡尔加里大学的运动科学家团队通过追踪研究平均年龄为 47 岁的 17 名宇航员发现,在持续半年或更长时间的太空任务中,宇航员可能会经历相当于衰老 20 年的不可逆的骨质流失。长期处于封闭太空中的宇航员,他们的身体应激激素会增加,并且容易暴露在病毒中^[4]。

辐射是人类在太空活动中面临的巨大风险之一。美国“好奇号”火星探测器的一份报告显示,它在前往火星的近 9 个月的旅程中,接收到了相当于在地球上 90 年积累的辐射量^[5]。在国际空间站完成累计 18 个月以上的飞行任务,宇航员患癌症的风险大幅增加。此外,太空辐射还会损害人体的中枢神经系统,降低人类的认知能力,从而影响人类的决策能力^[6]。

虽然同在太阳系,行星之间却存在极大的物理差异,包括大气、环境辐射和温度等方面。以火星为例,其重力不到地球的一半,其大气层也比地球的大气层薄得多,主要由 96% 的二氧化碳、氩和氮组成。火星的表面压力是地球大气压力的 6%,二氧化碳的绝对浓度非常低,低到无法形成温室效应。稀薄的大气层无法抑制太阳光对地表的加热,引发地表水的流失并失

去了维持地表生命的能力;同时,没有足够的摩擦力烧毁迎面而来的小行星,且几乎不能阻挡宇宙辐射。另外,火星表面还存在一个持续时间长达数月甚至一年的尘暴周期。尘埃可能包裹整个星球,并通过反射阳光来降低地表温度^[7]。其他差异是由地质和大气条件造成的,包括有限的光源、难以开采的液态水等。人类将依靠从地球上带来的食物或在火星温室里种植、养殖的食物生存下来。南极探险的心理体验与国际空间站宇航员的经历颇为相似。在地外环境中,人类无法获得任何直接的外部支援,这是一种极端的孤独和无助,是地球上的人类都不曾体会过的。这一点在《火星救援》《星际穿越》《MOON》等科幻电影中得到了淋漓尽致的体现。

宇航员在国际空间站使用药物或进行体育锻炼等常规防护,是远远不够的。因此,只要目前的太空防护不能为宇航员提供有效的保护,那么太空领域中的人类增强不失为可行选项。在某些特殊情况下,为了保障宇航员能够安全、高效地完成深空任务,太空领域中的人类增强就显得不那么遥远了。外太空是充满危险和挑战的异域空间,人类的太空探险以及未来可能的地外定居都将困难重重,除了宇航技术迭代升级方面的挑战,太空领域中人类增强也产生了一些值得讨论的伦理问题。

二、太空领域中人类增强的伦理挑战

在危险的地外环境中生活,需要改变未来宇航员的生活方式。人类增强措施能够提高工作性能和加强人体耐受性,以适应太空飞行。为了成功执行任务和最大限度地保护宇航员的健康,这些人类增强措施是否必要,在很多人看来存在道德上的争议。人类的自主性和积极性是否会受到侵入性药物和措施的影响? 太空计划在实施人类增强计划时是否冒着被剥削的风

险?诸如此类的追问考验着人类的社会观念和价值观。

(一)治疗与增强划界的老问题

未来的宇航员至少可以在两个方面得到增强:一是应用基因工程。这些人类增强的能力为宇航员生活在特定的太空环境中而设计,如微重力环境。二是涉及地球上的常规人类增强,如认知能力的增强。在后一种情况下,增强认知能力对宇航员可能不是必要的,但其可能是最大限度提高太空任务效率的方法。

只要牵涉人类增强议题,公众对由此引发的挑战持有不同的理解。价值观因文化而异,但对每种文化的干预总是有限的。文化的演进和社会经济的发展,使人们逐渐接受了一次又一次的改变,并使之融入文化中。如现代西方文化接受将宫内节育器作为一种相对安全的避孕方式,强调使用更人道的药物和外科手术进行堕胎。但在一些原始部落还保留着最原始的做法,甚至带有“巫术”的性质。在现代社会中,许多人仍然反对这些技术和习俗,即使这些技术和习俗是法律规定的。在某种程度上,作为公开或隐蔽文化的一部分,它们被个别文化群体所接受,并以积极的价值观念得到加强。

人类对增强手术的接受程度,从白内障手术采用新光学植入物中可见一斑。心脏起搏器、假肢、辅助听觉设备现在已司空见惯,各类神经增强药物充斥于市场。宇航员的人体增强和基因改造离我们并不遥远,因为这些药物或措施已经得到了广泛使用。

目前,伦理学和法律方面的学者尚未充分讨论人类在太空领域的增强所面临的挑战。但有一点可以确定,即地球上的人类增强面临的某些问题同样会出现于太空飞行任务。与地球上的人类增强类似,对太空领域中人类增强的某些相似批评会继续存在,如基于平等获得技术的问题,实施增强措施的不可预测的后果,或对改变所谓的“自然”机体天然特性的可取性

等。在深空飞行任务方面,治疗和增强的区分受到质疑。改善人类健康的程序和从疾病中恢复的能力之间的界限是存在争议的,增强健康人类能力的程序仍然是争论的核心。鉴于太空环境的特殊性与挑战性,应当允许宇航员提高其在太空环境中生活的适应能力。在这种情况下,增强人类的能力并不是一种没有实际理由的铺张浪费,而是具有出于人道关切和现实需要的必要选择。

与此同时,深空任务以及未来可能的火星移民会给治疗和增强划界带来新的挑战。主要的伦理问题集中在增加了社会不平等的风险、将基因修改传递给下一代,以及将基因编辑程序用于人类享受而不是用于治疗。只要基因编辑的程序仅从体细胞而非生殖细胞的角度考虑,这些反对意见就不适用于太空领域中的人类增强。一般来说,增强并不以治疗为导向,因此,增强往往只适用于健康的个体^[8]。未来的火星宇航员会是处于最佳健康状态的个体。但是,由于太空环境的背景和适应太空生活的需要,可能会出现新的情况,如此,对宇航员使用增强可能被视为一种治疗,这意味着得到增强的宇航员获得了在新环境中正常生活和工作的新能力。地球上的增强与深空任务期间的增强之间存在伦理道德差异的主要原因之一在于:地球上的人类增强通常使用一般的标准方法来实现;而在人类的深空任务中,可选择的增强和强制性治疗之间的界限变得越发模糊。有人反驳人类增强的限制性方法并不总是适用于载人航天,关于不平等和不公平的分配正义问题,以及地球上的人类增强可能造成的人类自主权的丧失,在太空领域中的人类增强的讨论中,将变得不那么重要^[9]。因为在太空领域中的人类增强中,视野并不局限在个体之上,而是整个人类,并且太空领域中的人类增强措施是为了增进人类福祉。然而,拒绝任何形式的人类增强的人认为争论同样适用于地球和太空,他们会

援引对人类尊严和人性的假定风险,或“扮演上帝”的隐喻,这些争议是所有增强形式都无法回避的。

(二)人类价值观念和道德体系的新问题

深空任务可能需要药理学、遗传学方面的技术应用。同时,这些技术领域的应用也存在着潜在的问题,因为它们挑战了对人体的定义。当将人体推向新的极限时,深空任务和地外居住也不可避免地把人类的道德和伦理体系推向新的极限。例如设定在火星背景下,增强功能会在一定程度上挑战人类的价值观。如果火星尘埃的破坏性比预期的要大,能否设计人类基因组在所有火星定居者的喉咙和肺部插入呼吸保护装置?能否“培育”出可以忍受火星尘埃的人类?什么样的干预和增强措施是可以接受的?人类能在火星上繁衍吗?如果能,新的火星人会是一种更好的人类吗?从“移民”外星球的长远角度来看,目前有些问题会使太空任务变得极具挑战性。

首先,人类的繁衍和价值观念受到冲击。把人类送入太空的最大挑战之一是人类能否适应太空生活。此外,火星重力是否适合人类孕育仍不得而知,且在火星移民地存在着与人类生殖有关的未知风险。如果人类无法在火星上繁衍后代,那么启动这项长期任务的计划需要调整。人类社群要想成功,通常需要有世代相传的潜力。当然,可以设想不断地由地球的移民来填充火星居住地。不过,这种结构大大扩展了“人类社群”的定义(该概念是由物种的原地繁衍所定义的)。如果偏离这个定义,需要一种新的社会结构以及新的价值观、规范和习俗,这些都与人类学家记录的所有其他人类社群不同。这些疑虑反映了我们缺乏对非地球人类生殖的知识。人类在地球上各种环境中的繁衍都是非常成功的。他们很有可能在火星上取得成功,但这可能需要健康干预,由此带来了棘手的伦理问题,例如“人造子宫”的合理性。此外,如

果人类在太空飞行期间怀孕和生产,事情就变得更加复杂了。与地球上的文化相比,可能需要修改关于人类生殖的道德和伦理标准。当在火星上怀孕时,会有哪些选择?一旦登上了火星,如果没有防护装备和栖息地,辐射对未来人类在火星上的繁衍以及一般人类活动来说,仍是一种挑战。如何应对这种危险,是对未来火星任务的候选者进行基因干预及增强免疫系统和肌肉骨骼系统吗^[10]?这些防范措施对火星上的人类或留在地球上的人类,会产生怎样的伦理影响?一个地方伦理标准的变化必然会影响到其他地方的伦理标准。这种信息和标准的“回流”是一个容易忽视的问题。地球可能会改变火星,然而火星也可能会改变地球。

其次,需特别关注独特的地外条件和新的伦理计算问题。地外星球,比如火星基地的条件与地球上的环境极不相同。与世隔绝的生存事实可能会给人类的心理带来负面影响,各种心理问题可以通过使用辅助药物来解决,以帮助宇航员适应复杂的条件。在前往火星的旅途中,使用这些药物是不可避免的,但尚未制定针对这些情况的使用规程。环境因素是否会在价值观、规范、习俗和道德方面产生差异?在讨论这些因素如何发挥作用的过程中,还出现了需要进一步研究的问题。这些问题对社会科学家和医生都很重要,因为人类的组织和文化会根据内部和外部的力量而变化。目前尚不清楚的是,它们是否在火星上运行、如何在火星上运行,以及哪些新的力量可能从宇航员内部产生,或来自外部环境。如果火星成为人类增强的常规场所,就会有决策阶段。太空伦理学家和医生会思考,在没有增强功能的情况下派遣宇航员并将他们暴露在不必要的危险中,这种风险本身是否符合伦理。不得不仔细权衡风险、收益和成本。火星在新的伦理计算方式上有所不同,火星任务必然包含人类与机器的集成,以监测宇航员的身体功能,并方便安全管理群体组

织功能。在制定和审查适当的程序之后,人类基因工程不仅被用于保障和增进宇航员的健康,而且还将用于在一个新的环境中扩大他们的身体限制。火星上的人类可能代表一种新人类,正是这些人共同为一种新型的社会和社会结构提供改变的参数。随着时间的推移,社会、文化和伦理习俗会不断演变,由居住者使用、检验和保留。这些人会质疑和抛弃一些源于地球社会的习俗。如前所述,改变后的价值观“回流”到地球则会出现比较,当触及到“对”和“错”的决定时,冲突就会出现。

三、太空领域中人类增强的伦理评价和程序性审查

在关于人类增强的伦理之争中,通常采用的是风险/收益分析框架,部分原因是它涉及政策和项目背景下对风险/收益的价值判断。但当风险/收益分析显示收益大于风险时,存在方法论问题。在这种情况下,很难对人类增强的应用提出强有力的反驳。对风险/收益分析的方法处理可能受到现有对增强的预先判断的限制,或者由于准备不足而受到限制^[11]。

对人类增强过程的伦理评价是依赖于情境或语境的,可能是程序依赖、社会依赖或文化依赖。如果一个特定的群体只包括增强的成员,那么得到增强的和未得到增强的个体之间就不存在任何不公平竞争的风险。在一些可能的情况下,某些典型职业的代表可能会被认为是某些增强程序的待选项,如士兵或飞机驾驶员需要表现出高水平的身体性能和职业技能。针对特定的职业和任务,需要高度专业化的技能和能力,而在这些技能和能力无法用标准的手段开发和训练的情况下,应用人类增强可视为一种合理选择,这种选择正好契合了太空任务的危险性。

然而,一些伦理学方法或原则表明,在逻辑上很难对人类增强程序提出反对意见。例如,

按照不伤害原则,只要不伤害任何人类,人类增强就是可取的。如遵循伦理学理论中的主观主义方法,即在一个多元化的社会中,不存在应该被所有成员共享和接受的客观原则^[12]。这些论点可以用作地球上人类增强的辩护理由,太空环境由于其特殊性,太空领域中人类增强的辩护则更易于被接受。

如果一个特定的增强程序生成某种能力,而这种能力是人类宇航员在太空生存所必需的,那么至少应该用两个标准来评估这项增强程序:第一,这种增强是否是生存所必需的,而且可能是完成特定任务所必需的?这一标准所折射的重要信息是,禁止某些不以生存为目的的增强。第二,增强是否会提供其他技术手段无法实现的功能。在漫长的太空飞行期间,生活在微重力环境中,而后又生活在火星的重力减弱的环境中,是否为太空领域中的人类增强提供了理由。人工重力是一种替代方法,但目前人类的技术能力还无法使用这一方法。相关公共政策应制定一套明确的标准和程序,包括成本/收益、风险/收益分析。相关法律法规应该明确说明与增强和非增强选项相关的限制,必须将成本和风险与人类的利益进行权衡,包括有形和无形的利益,以及长期和短期的利益。当人类增强比不增强的方案成本低时,任务规划者在决策前,最终应该考虑公众的意见。

尼克·波斯特洛姆(Nick Bostrom)和朱利安·萨乌列斯库(Julian Savulescu)指出,任何负责任的监管机构都不应在未经审查的情况下默许禁止增强,而应该把增强作为选项之一^[13]。他们认为应将增强常规化,这意味着增强不应该被禁止,但每一个选择都需要仔细评估,然后再给出允许或禁止的决定。有些人类增强被称为“激进的”增强。笔者认为,在使用带有负面效应的术语时应该谨慎,其定义可能在未来几年内发生重大变化。“激进的”增强这个定义涉及开发和应用任何人类都不具备的能

力的增强^[14]。当太空领域中的人类增强应用于宇航员身体时,这些所谓“激进的”增强可能包括应对太空环境的解决方案,如能够防止严重的辐射伤害,或减轻失重引起的认知和身体定向障碍。如果经过周密反复的测试,能够帮助宇航员达成目标并有益于他们的健康,这些方案不失为一种人性化的选择。

有研究者从义务的角度讨论了道德增强和法律权利,人类应尽其所能增加履行道德义务的机会。“道德增强”背后的主要理由是技术进步与以往环境下演化出的一套狭隘的人类道德直觉之间的冲突。新的技术解决方案对人类道德提出了挑战,因为它们为新的甚至是无法想象的程序打开了空间^[15]。然而,这可以视为一个极端的选择,本身并不能为任何潜在的火星宇航员提供充分的信息,因为对风险或收益的了解还不够。对人类道德能力进行药物或基因修改,这不再是人类物种在地外星球的“移民”,而是人类物种的另一个版本。最终可能会有类似的技术,在人工智能发展中已经提出了制定道德决策程序的机制^[16]。

此外,对于太空任务来说,“脑机接口”技术的实现可能是更有争议的人类增强类型。“脑机接口”解决方案可能对人类隐私造成威胁,或者造成歧视。另外,认知能力的增强可能会使人类获得更多的特性,从而提高人类的自主性。这似乎有悖常理,因为人类增强程序通常被视为对人类自主性的威胁^[17]。尽管如此,人类的认知能力增强后会具备额外的技能,从而使他们拥有更多的自主性。未来有许多变数,即使人们认为“脑机接口”不会挑战人类的自主性,也有必要评估它对太空任务的必要性。

四、结语

太空探索是危险的发现之旅,人类的健康在深空任务中会遭受威胁。人类在地外星球的最大挑战包括依赖从地球运送物资、发生意外

时不易疏散或逃离等。在不久的将来可能会实施太空领域中的人类增强。相应地,会带来诸多挑战人类道德和伦理的问题,甚至可能导致人类道德标准发生根本性变化。如在飞往地外星球的过程中,以及在地外星球的环境中,人类生命的价值、独立性和自由意志会如何以及在何种程度上受到挑战。同时,增强的宇航员可能会更好地适应太空的危险环境,但如果增强功能是不可逆转的,对太空任务结束后返回地球的宇航员来说,增强功能又可能具有另外的风险。

我们认为,与太空任务相关的最大的伦理挑战可能不在地外异域空间,而是在地球上。在作出增强的决策时,必须经医疗审查委员会审核医学干预措施是否可取,再由内部审查委员会决定。而一般的人体增强问题可以由未来的太空医学委员会来审查,有经验的评审员会对人体增强技术逐类审查,必要时逐个审查,共同作出合理的决定。太空领域中的人类增强是一个充满未知挑战的新兴领域和议题。对于理论创新和科技创新而言,我们更需要转向一种积极的责任观,以应对创新本身的不确定性与风险^[18]。我们在这里提出的问题远远多于给出现成的答案,太空机构、伦理学家可以就太空领域中的人类增强的伦理挑战来一场集思广益的讨论,引导太空领域中的人类增强从理论走向实践、从规划走向实施,以助益航天事业稳健发展。

[注释]

- ① 这里的太空泛指地外空间,既包括常规的空间站环境,也包括未来深空星际任务和外星球登录活动所处的空间。

[参考文献]

- [1] Hempenius S A, Voûte C. Human development and the conquest of space[J]. Space Policy, 1985, 01 (02): 179-186.

- [2] Shelhamer M. Why send humans into space? science and non-science motivations for human space flight[J]. *Space Policy*,2017,42(10):37-40.
- [3] Szocik K, Braddock M. Why human enhancement is necessary for successful human deep-space missions[J]. *The New Bioethics*,2019,25(04):295-317.
- [4] Cirković M M. Enhancing a person, enhancing a civilization: a research program at the intersection of bioethics, future studies, and astrobiology [J]. *Cambridge Quarterly of Healthcare Ethics*, 2017, 26(03):459-468.
- [5] Cucinotta F A, Khiet T, Cacao E. Predictions of space radiation fatality risk for exploration missions[J]. *Life Sciences in Space Research*,2017,13(05):1-11.
- [6] Barker R, Gilroy S. Life in space isn't easy, even if you are green[J]. *The Biochemist*,2017,39(06):10-13.
- [7] Weintraub D A. Life on MARS: what to know before we go [M]. Princeton: Princeton University Press, 2018:107.
- [8] 杨琼,李帅. 增强与治疗之间:人类增强技术的应用困境[J]. *自然辩证法研究*,2019(4):29-35.
- [9] Giubilini A, Sanyal S. The ethics of human enhancement[J]. *Philosophy Compass*, 2015, 10(04): 233-243.
- [10] Szocik K, Campa R, Rappaport M B, et al. Changing the paradigm on human enhancements: the special case of modifications to counter bone loss for manned mars missions[J]. *Space policy*,2019,48(05):68-75.
- [11] Melo-martín I D. Defending human enhancement technologies: Unveiling normativity [J]. *Journal of Medical Ethics*,2010,36(08):483-487.
- [12] Roduit J A R, Heilinger J C, Baumann H. Ideas of perfection and the ethics of human enhancement[J]. *Bioethics*,2015,29(09):622-630.
- [13] Bostrom N, Savulescu J. Human enhancement [M]. London: Oxford University Press,2008:20.
- [14] 易显飞,刘壮. 当代新兴人类增强技术的“激进主义”与“保守主义”:理论主张及论争启示[J]. *世界哲学*,2020(1):151-159.
- [15] 费多益. 情感增强对个人同一性[J]. *世界哲学*,2015(6):41-48.
- [16] 任然,杨琼. 人工智能辅助道德增强可行吗? [J]. *科学·经济·社会*,2020(3):117-124.
- [17] 刘红玉,易显飞,叶岸滔. 脑机接口技术及其人文风险[J]. *长沙理工大学学报(社会科学版)*,2021(2):1-7.
- [18] 负兆恒,李建清. 负责任创新语境下的责任解析[J]. *自然辩证法研究*,2020(10):53-59.