



国家出版基金资助项目
国家社会科学基金军事学项目：
生物技术与下一轮军事变革



生物科技引领下一轮军事革命
强军目标主题出版重点选题



Human Performance
Modification:
Review of Worldwide
Research with a View to the Future

人体效能改造 ——国际研究现状与未来展望

原著 / (美) 人体效能改造国外技术发展评估委员会
工程和物理科学处
行为认知与感官科学理事会
行为与社会科学及教育处
美国科学院国家研究委员会

翻译 / 楼铁柱 王玉峰等



军事医学出版社



生物科技引领新一轮军事革命

· 人体效能改造 ·

——国际研究现状与未来展望

Human Performance Modification: Review of
Worldwide Research with a View to the Future

原 著 (美) 人体效能改造国外技术发展评估委员会

工程和物理科学处

行为认知与感官科学理事会

行为与社会科学及教育处

美国科学院国家研究委员会

翻 译 楼铁柱 王玉峰 毛华坚 李丽娟

高云华 陈 婷 刘 亮 王宇晶

军事医学出版社

· 北 京 ·

This is a translation of *Human Performance Modification: Review of Worldwide Research with a View to the Future* by Committee on Assessing Foreign Technology Development in Human Performance Modification; Board on Behavioral, Cognitive, and Sensory Sciences; Division on Engineering and Physical Sciences; Division of Behavioral and Social Sciences and Education; National Research Council © 2012. First published in English by the National Academies Press. All rights reserved. This edition published under agreement with the National Academy of Sciences.

总政治部宣传部版权局著作权合同登记号：图字：军-2015-112号

图书在版编目(CIP)数据

人体效能改造：国际研究现状与未来展望 / 美国人体效能改造国外技术发展评估委员会等主编；楼铁柱等译。
—北京：军事医学科学出版社，2015.10
(生物科技引领下一轮军事革命)
ISBN 978-7-80245-695-2

I. ①人… II. ①美…②楼… III. ①生物工程-应用-军事变革 IV. ①E0

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第021942号
(军事医学科学出版社正式更名为军事医学出版社)

责任编辑：孙宇 张淙 李霞 王静雪

出版：军事医学出版社

地址：北京市海淀区太平路27号

邮编：100850

联系电话：发行部：(010) 66931049

编辑部：(010) 66931127, 66931039, 66931104

传真：(010) 63801284

网址：<http://www.mmssp.cn>

印装：中煤涿州制图印刷厂北京分厂

发行：新华书店

开本：710mm×1000mm 1/16

印张：7.25

字数：81千字

版次：2015年10月第1版

印次：2015年10月第1次

定价：34.00元

本社图书凡缺、损、倒、脱页者，本社发行部负责调换

《生物科技引领下一轮军事革命》丛书

编译委员会

主 任 贺福初

副主任 李瑞兴 徐天昊 毛军文

委 员 (按姓氏笔画为序)

刁天喜 王 磊 王松俊 孙 宇 杜 旻

伯晓晨 吴 东 吴海涛 张明华 陈 岩

范 明 郁成雨 郭 磊 徐 池 焦 剑

董 罡 楼铁柱 雷二庆

秘 书 陆倍倍

译者序

史往今来，先行者胜、先胜者王。面对国防和军队现代化的强烈需求，以军事医学科学院为首的我国防生物科技力量，积极响应习主席强军号令，勇于担当，将眼光投向未来，提出了抢先发展国防生物科技、抢夺生物化军事革命先机、为实现中国梦争做未来先锋的时代命题。

月晕知风，础润知雨。现代生物科技及其与信息、纳米、认知等科技领域的交叉融合，将对武器装备、作战空间、战争形态等产生革命性影响。今日，生物化军事革命浪潮风生云起，这将是人类进入新千年后的第一次军事革命，它也是近五千年来由生物科技发端的第一次军事革命。

以美军为代表的发达国家军队对此高度重视，并已展开全方位的战略部署。2014年4月1日，曾孕育互联网与GPS、被誉为“全球军事科技发展风向标”与“美国最伟大科技创新工厂”的国防高级研究计划局（DARPA）正式设立生物技术办公室，旨在“改变游戏规则、创造游戏规则”，从国家安全的战略高度强化生物科技与工程科技、信息科技等的交叉融合及其统领与辐射作用，进一步巩固其在国防科技领域的领先优势。正如DARPA局长阿尔提·普拉巴卡尔在国会众议院听证会上所指出的，生物是大自然的终极创新者，任何创新都应该利用系统复杂的生物学大师

来获取灵感与解决方案。美国这一最新动向预示，生物科技将成为未来军事革命和大国博弈的战略制高点。

他山之石，可以攻玉。军事医学科学院精心策划，组织精干人员遴选和编译了外国系列专著和报告，形成了本套精品丛书。

我相信，这套丛书对我军现代化建设，尤其是从大到强的转型发展，具有重要的借鉴价值，必将产生深远的历史性影响。

是为序。

军事医学科学院院长、中科院院士

贺福初

二〇一五年九月二十五日

译者前言

2012年10月，美国国家科学院国家研究委员会应美国陆军要求，发布了一份名为《人体效能改造：国际研究现状与未来展望》的报告，报告探讨了人体效能改造能力的研究现状与主要国家，重点关注未来15至25年的可能发展前景。

报告认为，人体效能改造包括效能增强和效能破坏两方面。随着医学、生物学、电子学和计算机等领域的发展，改造人体的能力越来越精细化，并且毫无疑问将会被军队采用，对作战双方都将产生潜在的重大影响。报告重点关注了人体效能改造的3个研究领域：计算、生物学、脑机接口。报告指出，人类感知和效能可以通过使用技术系统补充和提高人类认知能力而得到增强，人类感知可以通过使用各种复杂的认知工具得以改造或增强。生物学问题重点关注组织工程及疲劳防范，组织工程可改进或替换人体生物学功能，对抗疲劳所致人体效能下降的措施包括莫达非尼、高精度光治疗设备、经颅刺激、睡眠模式的遗传分析等。神经植入物等脑机接口在效能增强方面的潜在应用未来可能实现，推动与人体效能改造技术相关的诸多技术领域，包括电子器件、微电子机械系统、能量收集和储存装置与系统、生物医药等的快速发展，但短时间内显著提高人体效能的可能性仍较小。

报告所关注与调研的技术领域包括：认知计算与训练、组织工程与再生医学、脑机接口、认知增强、生物电子学、纳米技术和神经植入物等，都具有广泛的军事应用前景，已经得到美军的高度重视，未来还将会进一步深入影响军队武器装备发展与军人作业效能。我们对该报告进行了全文翻译，希望有助于读者了解人体增强技术的军事应用意义和发展趋势，但因水平有限，报告翻译中难免存在错误与缺陷，尚请供广大读者批评指正。

译者

二〇一四年四月

摘要

用于改造人类天然的生理及认知能力的技术发展已经受到了越来越多的关注，特别是军队可能需要随时应对进行了战斗人员能力增强的外来力量。人体效能改造（HPM）是一个一般性定义，范围涉及从服用如咖啡因或古柯叶等天然物质作兴奋剂，到应用纳米技术作为给药机制，或是非侵入式大脑移植植物等。尽管人体效能改造技术的文献通常关注的是效能增强，但另一可能的焦点是破坏效能的方法，或是对军队作战能力产生负面影响的方法。

随着医学、生物学、电子学和计算机等领域的发展，使得改造人体的能力越来越精细化，并且此类创新毫无疑问将会被军队采用，对作战双方都将产生潜在的重大影响。虽然某些创新可能是出于纯粹的军事目的而开发，但由于商业研究基础的全球化与国际化，这些创新不可能仍仅仅停留在军事领域。

人体效能改造国外技术发展评估委员会^①基于文献综述、接收的报告和委员会专家的专业意见，选择了以下三个领域作为研究重点：

① 该委员会评阅的学术论文基本上反映了来自多个国家研究人员的合作及大学实验室之间思想的交流。大公司越来越多赞助全球研发工作，所拥有的实验室、观念和发展不受国界限制。技术发展受到全球信息基础设施的加速推进，其中最引人注目的是互联网，知识的快速全球蔓延已经非常正常

作为计算问题的人体认知改造（第二章）

作为生物学问题的人体效能改造（第三章）

作为脑机接口功能的人体效能改造（第四章）

一、作为计算问题的人体效能改造

人类感知和效能可以通过使用技术系统补充和提高人类认知能力而得到增强：人与计算工具的综合系统正变得更聪明，比单独的人类更有能力（Norman, 1993）。所有功能性认知系统都应该具备感知与测量技术、处理与分析技术以及控制并完成预定目标的技术（Norman, 1980）。例如，一个用来辅助作战车辆操作员操纵车辆经过不平整地形的感知系统可能需要通过摄像头来记录影像、处理加工信息（例如，对场景内的物体进行分类和定位），并提醒操作员。

1. 计算与人体认知

人类感知的现实可以通过使用各种复杂的认知工具得以改造（增强）。认知工具是补充和增强人体认知能力的技术系统。认知工具不会使一个人更聪明，相反，它是更聪明或更有能力的人与工具的综合系统（Norman, 1993）。例如，高级的认知工具可佩戴在身体上或植入到身体的各个部位，可提供对生物系统效能、记忆、感知能力、沟通能力等的增强。

增强现实（AR）在提高指挥选择和决策方面有很大的潜力，因为外部可以从分散的地理位置远程提供相关信息和解释。另一个应用是加强训练，通过加强和可视化方法以显著提高分布式工作团队的绩效。进一步扩展，将非人类的自动化组件与人类以团

队方式组织安排可以提高人类群体的认知效能。

2. 计算限制

通过计算手段增强认知受到电力需求和架构设计的限制，目前还无法支持复杂的认知处理加工。虽然信息技术（IT）每年不断取得新进展，不断降低能源消耗并提供更好的性能，目前的计算系统能力正在螺旋式上升，超越了数据和信息处理的需求（Izydorczyk, 2010）。例如，IBM 的“沃森”（Watson）是一种先进的计算系统，可以“理解”自然语言提出的问题，并找到相关来源的信息，确定不同选项的置信水平，做出与事实相符的答案（Ferrucci, 2012）。但沃森令人印象深刻的人工智能在认知信息处理能力方面仍然远远低于人脑，人脑的体积与它相比要小几个数量级，同时更高效。虽然数据存储和硬件设计的发展将改善这一状况，电脑仍需要变得更加类似于人类大脑，以满足增强现实的要求。

可重构计算^①提供了一种方法来实现更加节能、类似大脑的计算机，其能够自我学习并根据任务和要求进行调整而无需进行编程。这类工具用于增强认知还需要深入研发神经形态器件和电路，从而可将运算单元和内存相互“融合”或实现精细交错（Indiveri et al., 2011）。计算机要想与人脑相似，需要类神经元计算单元之间的密集互连。此外，还必须克服逻辑单元的空间约束挑战，以及绘制大脑神经突触功能以满足配置要求的挑战。上述发展将可能从根本上改变计算的本质，尽管其距离现实世界的实际应用可能需要 15 年或以上的時間。

① 可重构计算允许建造智能电路，其可在经验和学习的基础上进行调整

3. 国际研究

根据委员会的调研，美国目前在认知增强技术领域具有竞争性优势，其在以人为中心的软件开发中居于领先地位，但全球范围内认知计算研究发展也十分迅猛。澳大利亚、爱尔兰、土耳其和瑞士在采用可重构计算的神经网络方面具有强大的科研实力。此外，大型的国际项目推动了新的神经形态计算架构的研发，例如欧洲的 FACETS 联盟（突发瞬时状态的快速模拟计算），由来自奥地利、法国、德国、匈牙利、瑞典、瑞士和英国等 7 个国家参与。

4. 良好设计的重要性

机器擅长于精确、重复性的操作任务，而人类则相形见绌。相比之下，人类擅长于需要灵活性和创造性的任务，并能对新的、意想不到的情况——任务做出迅速反应，机器对此则表现不佳。不幸的是，目前的许多计算设计不仅未能利用人类能力的优势，反而迫使人类按照机器的规则和逻辑进行操作。若能更好地关注行之有效的“以人为中心”的设计原则和人—系统集成，包括人类认知能力的建模和仿真，无需开展新研究或新应用，就有可能显著增强人类的认知能力。

5. 技术损害人体认知能力

虽然大多数的 HPM 计算进展的目的是为了提高人体效能，委员会也研究确定了一系列旨在降低破坏人体效能的技术。其中一个例子就是日本研究人员使用现成商业组件开发的一种设备，其可干扰和阻止语言发声（Kurihara and Tsukada, 2012）。在作战或维和环境 中，如果使用这种装置，因为其会阻止针对友军、敌军或

平民发出口头命令、指示或保证，从而导致严重后果^①。虽然目前尚未发现其他有意破坏人体认知能力的例子，但这种技术的潜力不应被低估。

二、作为生物学问题的人体效能改造

委员会确定与评估了人体效能改造作为生物学问题在未来 10 到 15 年最有可能产生重大影响的两个主要研发领域：组织工程 and 解决疲劳的机制（包括睡眠模式）。

1. 组织工程

组织工程可定义为使用细胞、工程材料、合适的生物化学和物理化学因素，改进或替换生物学功能。目前已经在薄膜、无血管、高再生潜能的组织领域取得突破。例如，组织工程化的皮肤、软骨、骨骼和角膜已被用于临床（Khademhosseini et al., 2009）。

组织工程的实现有三种方法，包括：传导性方法，其使用材料作为细胞浸润的结构框架；诱导性方法，使用水溶性物质促进细胞浸润；以及细胞替代性方法，其提供了同种异体移植物（来自捐赠者）或自体移植物（来自患者）来修复组织。组织工程可加速损伤组织恢复，提高所产生组织的质量。其在军事领域的主要应用目的是增加和改善愈合过程，从而使伤病士兵更迅速地归队。目前，组织工程方法还无法提高健康组织的正常功能。这种情况在短时间内还无法改变，因为大规模细胞的组织仍是巨大的挑战。

① 相比之下，人体效能偶然或无意的下降可在不适当地使用效能增强设备时发生，如驾车时使用手机。

2. 国际研究

组织工程在世界各地都是极为活跃的研究方向，主要是在运动医学实验室、基因工程实验室和康复手术中心等科研机构开展。委员会发现它也是最难进行调研的研究领域之一，因为其研究内容非常巨大、多样和复杂。此外，由于这一领域涉及对人体的直接干预，世界各国对其有各种不同的看法，对何种研究在伦理上可以接受也存在分歧。

3. 对抗疲劳效应

工作相关疲劳对基本精神运动和认知效能的负面效应已是众所周知的事情。生理疲劳表现为敏捷性下降、手眼协调能力减弱、震颤、不安、力量和耐力丧失。工作相关疲劳的主要原因包括长时间工作、睡眠不足、日常（昼夜）节律的紊乱，从而影响到警觉性和认知效能。

生理和心理负荷也是疲劳所致效能下降的重要决定因素（Chaffin et al., 2006）。轮班工作对人体特别有害，因为人类没有在晚上工作的生物功能。黎明前一段时间，新陈代谢速率下降到昼夜最低点，此时大脑中导致睡眠的复杂生物机制也是最强大的时候。

疲劳已得到非常广泛地研究，疲劳模型已被纳入正式的疲劳风险管理计划中。现有知识已被用于优化行动计划，并用于轮班和移动调度。目前已经发展出检测与管理疲劳的各种新技术，包括定时服用莫达非尼等药物制剂，以及高精度光治疗设备等。这些技术与人力资源管理相融合可能会影响部队在极端情况下行动的职能效率，如长班、轮班以及跨多个时区的快速部署等。

某些领域目前已经得到了科研资助，包括疲劳对团队认知效能的影响，睡眠和疲劳特性的表型和基因型研究等。但有些知识领域尚未有科研经费资助，包括经颅刺激对睡眠和精神运动性能的非治疗效果，自动化和疲劳之间的相互作用对人类操作员认知技能的影响，疲劳对更高一级认知结构，如自然决策、承担风险和态势感知等的影响。

在未来 5 至 10 年，自上而下的疲劳风险管理系统将在 24/7 的行动中越来越普遍，例如在执行关键行动之前先满足睡眠需求的做法。在未来的 10 到 15 年，旅行前预先调整昼夜节律将司空见惯，24/7 工作和夜间行动者在值班期间午睡也将成为被接受的做法。

委员会还发现，对具有独特睡眠模式的个体进行遗传分析对军事行动有非常重要的应用潜力。这类人员包括易发生睡眠剥夺或限制的短睡眠者，以及有独特的昼夜节律效应体验者。目前正在大规模筛查以确定睡眠调控基因，并在分子水平上研究睡眠回路和功能。如果一支军队能在比敌人睡眠更少的情况下仍能保持全部功能，其对军事行动效果的影响将十分显著。

4. 国际研究

委员会调研结果表明，欧盟在疲劳研究领域居于全球领先地位，美国、澳大利亚和日本研究实力也很强。欧洲和日本已经深入研究了铁路作业中的轮班工作情况，其类似于军事行动，需要 24 小时的不规律工作时间表。直到最近，美国才开始资助开展类似的研究，以更好地了解不规律调度工作对生理、认知等的影响。包括巴西、加拿大、冰岛、新西兰、挪威、新加坡和韩国在内的其他国家也进行了大量的研究。

三、作为脑机接口功能的人体效能改造

1. 脑机接口

脑机接口 (BCI) 涉及神经信号与外部设备的直接通信。大量的研究关注的是神经活动的检测和翻译能力以及用它来指导控制机器从而增强人体效能 (Brunner et al., 2011)。最常见的应用领域是康复医学。例如, 已经开发出能使残疾人控制轮椅、假肢或语音模拟器的神经植入物 (Rebsamen et al., 2010; Bell et al., 2008; Brumberg and Guenther, 2010)。另一方面, 电子信号也可用于刺激大脑区域, 诱导特定的运动响应, 但目前这样的效果只在动物实验中得到证实 (Arfin et al., 2009; Nuyujukian et al., 2011)。虽然脑机接口在效能增强方面的潜在应用未来可能实现, 但目前其与意图取代的正常人体功能相比, 速度更慢, 准确率更低。

脑机接口的成功使用和操作最关键的是确定特定过程中的大脑激活区域。最近, 通过植入受试者大脑的神经探针获得的脑电图谱 (EEG) 已成功重建了对象听到的声音。未来的研究将试图扩大这种能力来分析思想的脑电图谱, 并将其转换为语音。这是一个令人振奋的进步, 可使能丧失说话能力的个人重新开口说话。

2. 纳米技术的作用

脑机接口以及众多其他人体效能改造技术的实现需要应用到纳米技术, 它可以推动与人体效能改造技术相关的诸多技术领域, 包括电子器件、微电子机械系统、能量收集和储存装置与系统、生物医药等。对人体效能改造技术尤其重要的是利用纳米技术制造比细胞还小的生物接口材料, 从而可能在生物学水平与人体直

接发生相互作用。例如，埋入人体皮下的纳米粒子可以增强感官知觉（Cash and Clark, 2010）。

纳米技术在人体效能改造领域更具突破性的应用是开发神经植入物。这类装置设备可直接放入大脑以检测电信号（Navarro et al., 2005）。为了提高信噪比和分辨率，神经探针必须与其监测的神经元相同大小规格，即数微米左右。此外，神经探针所用的材料必须是有生物相容性的，对周围组织造成的损伤和疤痕应尽可能少。目前正在开发精密复杂先进的纳米材料以实现上述这些特性（Zhang and Webster, 2009）。

3. 国际研究

委员会通过文献检索发现，美国之外的许多国家和地区都在积极开展认知功能研究，重要国家包括以色列、德国、日本和荷兰。中国台湾和韩国也具备相关科研基础设施和专业知识，中国在这方面也表现出了极大兴趣。虽然目前已经有很大的进展，但是人类大脑如何发挥功能在很大程度上仍然未知，而且似乎不太可能在短时间内通过脑机接口技术显著提高人体效能。

四、总结思考

很显然，人体效能改造，无论是能力的增强还是破坏，在所有技术发达的国家和地区都是极为活跃的研究主题。研究范围非常广泛，从体育相关研究到工作增强研究再到军事应用研究，并且每一类别的交叉应用潜力也很巨大。例如，损伤恢复和生理效能增强现在大多是体育研究部门在开展，但显然也适用于军事力量的发展和维持。