



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Engineering

journal homepage: www.elsevier.com/locate/eng



Views & Comments

包容性工程——借助工程技术发明为身体或精神障碍人士赋能

Peter T. Cummings^a, Philippe M. Fauchet^b, Michael Goldfarb^c, Martha W.M. Jones^d, Maithilee Kunda^{b,e}, Jonathan B. Perlin^h, Nilanjan Sarkar^{b,c,e}, Keivan G. Stassun^{b,e,f}, Zachary E. Warren^{e,i,j}, Karl E. Zelik^{c,g,k}

^a Department of Chemical and Biomolecular Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235-1604, USA

^b Department of Electrical Engineering and Computer Science, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235-1826, USA

^c Department of Mechanical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235-1592, USA

^d Department of Medicine, Health, and Society, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235-1665, USA

^e The Frist Center for Autism and Innovation, Vanderbilt University, Nashville, TN 37212, USA

^f Department of Physics and Astronomy, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235-1807, USA

^g Department of Biomedical Engineering, Vanderbilt University, Nashville, TN 37235-1631, USA

^h HCA Healthcare, Nashville, TN 37203, USA

ⁱ Department of Pediatrics, Vanderbilt University Medical Center, Nashville, TN 37232, USA

^j Treatment and Research Institute for Autism Spectrum Disorders, Vanderbilt Kennedy Center, Nashville, TN 37203, USA

^k Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Vanderbilt University Medical Center, Nashville, TN 37212, USA

1. 背景

借助工程学工具、设计、研究和思维创建社会环境和性能，提高那些因身体残疾（如截肢或脊髓损伤）或者神经多样性（如自闭症）而待业或失业的个体的生产力，帮助其融入社会并回到工作岗位，是范德比尔特大学和其他研究机构数十年来潜在的研究目标。范德比尔特大学工程学院临近世界一流的范德比尔特大学医学中心，这使得工程学研究员与医学研究员可以紧密合作，极大地促进了该领域的进步。该领域通常被归属为康复医学工程（其研究重点是身体损伤的修复）。我们建议为其及其他相似领域重新归类。这些行为旨在为有身体和神经缺陷的个体赋能，帮助其回归工作岗位并为社会贡献力量。我们把这些行为归为新的工程学领域，即“包容性工程学”（Inclusion Engineering）。

虽然包容性工程学涵盖许多现有的领域，如机械工程、机器人技术、计算机科学、人工智能和系统工程，它和其他方法看起来很相似，但实质并不相同。例如，

无障碍工程学领域及其相近的通用设计领域都涉及技术原则和设计原则的运用，目的是确保残障人士可以无障碍进入建筑物或使用计算机和汽车等设施。相比之下，包容性工程学的目标更远大。它致力于全面发挥和利用个体的能力，而不仅仅是为他们提供无障碍通道。它的范围也更广，它既解决神经损伤又解决身体疾病。包容性设计是一种集设计和体系结构为一体的范式，它强调用户的多样性，试图涉及最广阔的群体。但它与包容性工程学完全不同，尽管包容性工程学研究人员的研究工作也包括研究技术用户的多样性。因此，包容性设计可以被视为包容性工程学的的一个组成部分，二者并不等同。

包容性工程学这一新兴分支学科的出现，反映了社会逐步趋向于包容性。具体而言，定量研究越来越支持这样一种观点，即当具有不同行为能力的人被充分考虑，他们的各种需求得到支持，他们的差异得到承认时，组织、系统和社会的积极影响就会得到改善[1]。

我们注意到，在钢铁行业中“夹杂物工程”（Inclusion Engineering）一词指的是优化钢中非金属夹杂物作用的

2095-8099/© 2021 THE AUTHORS. Published by Elsevier LTD on behalf of the Chinese Academy of Engineering and Higher Education Press Limited Company. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

英文原文: Engineering 2021, 7(2): 141–143

引用本文: Peter T. Cummings, Philippe M. Fauchet, Michael Goldfarb, Martha W.M. Jones, Maithilee Kunda, Jonathan B. Perlin, Nilanjan Sarkar, Keivan G. Stassun, Zachary E. Warren, Karl E. Zelik. Engineering for Inclusion: Empowering Individuals with Physical and Neurological Differences through Engineering Invention, Research, and Development. *Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2020.06.020>

方法。我们相信，正如我们所定义的那样，对于术语“包容性工程”的使用，我们总是可以从上下文中将其与Inclusion Engineering在钢铁行业中的使用区别开。

2. 包容性工程学实例

包容性工程学的目标是研发、发展和部署工程学设备及创造环境，提高有身体缺陷和神经多样性的个体的生产力，帮助其从出生到退休能够融入社会生活，拥有完整的人生。

范德比尔特大学包容性工程学的主要研究工作之一是帮助肢体残障人士。在美国，有4750万成年人行动不便或者有肢体残疾。这一群体的医疗费用每年达3500亿美元，占美国成人医疗总支出的23.6% [2-4]。脊髓损伤或肌萎缩性侧索硬化症（如斯蒂芬·霍金）、帕金森病和多发性硬化症等疾病都可能会导致肢体残疾。行动不便会导致人体活动减少，进而导致体能下降并引发其他健康问题[5-7]，于是人体的行动能力进一步下降。这是一个恶性循环，在患者及其家人的生活中日复一日重复发生。范德比尔特大学应用最先进的机器人技术来解决人体行动不便的问题（包括为截肢者设计的智能假肢和可穿戴式辅助机器人），其研究工作一直走在相关技术发展的最前沿，如人工智能康复动力外骨骼机器人应用于受伤后的阶段，目的是恢复人体生理功能，摆脱永久佩戴外骨骼的情况。助力型机器人可以持续地帮助具有慢性移动障碍的人士进行日常活动。防跌倒机器人在人体摔倒时提供保护，避免人体因跌倒而造成严重损伤。范德比尔特大学已经把自己设计制造的Indego™外骨骼机器人授权给工业企业派克汉尼汾（Parker Hannifin），该企业建立一个部门来生产和销售外骨骼机器人。该机器人已获得美国食品药品监督管理局（FDA）的上市批准。范德比尔特大学的外骨骼研究建立在对机器人技术、智能系统、控制、传感、测试和改进[8,9]及独立评估[10]等长达十多年研究的基础上。这项研究由康复工程与辅助技术中心领导，研究的未来目标包括提高设备运动的自然度、减轻设备重量和体积、降低设备成本等。

范德比尔特大学包容性工程学的另一个研究重点旨在解决患有神经多样性个体的需求（如自闭症谱系人群）。大约每六个人中就有一人患有神经发育障碍[11]，也就是说在美国就有5000多万人患有该疾病；更具体地说，在美国每54名儿童中就有1名患有自闭症谱

系疾病[12]。神经多样性人士通常难以完成一些日常工作，而这些日常工作可能是成年人有机会从事生产性工作的关键，例如，学习驾驶汽车或者胜任对社交能力要求高的工作。从另一方面来说，这类人士可能比神经典型发育人士能够更敏锐地捕捉到视觉特征[13]，这构成了神经多样性人群能够胜任特殊职业的基础，条件是他们的见解能得到支持[14]。范德比尔特大学对支持神经多样性人士的能力进行了广泛的工程学研究，例如，设计基于虚拟现实技术的驾驶模拟器，旨在向患有自闭症的青少年和成年人传授驾驶技巧[15]，另外，建立并研究基于视觉图像的人工智能系统，以便更好地了解神经多样性人群处理信息和体验周围世界的方式[14,16]，此外，他们还设计了一种基于计算机的分布式虚拟空间，这种虚拟空间允许多个用户彼此交互并进行虚拟物品交互，以保证灵活、安全的（自闭症儿童不易做到的）社交互动[17]。该领域未来的许多研究将在新成立的Frist自闭症与创新中心的支持下进行的。

范德比尔特大学包容性工程学部分研究工作如图1所示。



(a)



(b)

图1. 范德比尔特大学包容性工程学研究示例（图片来源于范德比尔特大学）：(a) 研究人员正优化下半身外骨骼；(b) 范德比尔特大学研发的驾驶模拟器，帮助患有自闭症谱系的年轻人学习驾驶技能，学员身上的监视器监控学员生理反应和对道路的注意力情况。

3. 影响

包容性工程学的最大影响也许是它可以在个人独立方面和经济独立方面为残障个体提供无形收益。包容性工程学也可以通过将费用转化为价值，为社会提供可观的经济效益。例如，美国行动不便或者患有严重身体残障的成年人有4750万，每年的医疗保健费用约为3500亿美元[2-4]，而目前使用外骨骼辅助设备的人只有0.02%左右。如果开发出更轻便、更自然、更智能的外骨骼设备，并且其使用率能够达到10%，则费用可节省多达350亿美元。在美国，抚养一名自闭症谱系障碍者的平均费用在120万~240万美元之间[18]，其中费用最高的是居家治疗、配套的生活设施和个人生产力损失。英国的情况类似。假设美国7400万17岁以下的儿童中每54个人就有1个人（即137万）患有自闭症谱系疾病，那么全部费用将在1.5万亿~3万亿美元之间。在包容性工程学研究的支持下，有10%的个体将不再需要财政支持，这将节省2000多亿美元。包容性工程学不仅降低了与该病相关的经济费用，还为社会和经济提供了以前未充分利用的劳动力，将费用转化为价值。由此可见，包容性工程学的潜在社会影响力是巨大的。

4. 总结

包容性工程学是工程学下的一个新兴的分支学科。它旨在为身体状况、精神状态、智力水平不同的个体设计系统和结构，辅助其参与到工作或社交活动中。这个工程学新分支学科的关键特性包括两方面：一方面是各个开发阶段（从构思到设计、研发和生产）的意向性；另一方面是持续的学习性，以确保其适应性功能完全满足其包容性目的。当然，包容性工程学的核心特性是包容性，它不仅代表着多样化时代的公平道德责任，而且有着重要的经济意义。对于科学史和科学哲学专业的学生来说，包容性工程学代表着社会形式的转变。正如库恩（Kuhn）描述的那样[19]，传统上的哲学突破并非孤立地发生，而是发生在允许重新考虑解释和建设性适应（constructive adaptation）的语境中。我们即将进入21世纪第三个10年，在这个背景下，我们所处的环境排斥任何形式的差异，不再容忍那些不“正确”的东西。因此，这一新兴的工程学分支学科打破了传统，它认为那些把多样性排除在外的产品设计或建成环境设计从根本

上来说是不完整的。此外，它认为在当前环境下针对能力多样性构成的挑战需要采用适应性工具进行解决，让人们能广泛地成功参与到经济和社会活动中。

Acknowledgements

Inclusion Engineering research has been supported at Vanderbilt University over several decades by the US National Institutes of Health, the US National Science Foundation, and the US Department of Defense. It has resulted in spin-offs of multiple small companies and the licensing of intellectual property to various companies. More recently, support has been provided by US National Science Foundation (OIA-1936970) and a Howard Hughes Medical Institute professorship award. Generous philanthropic endowed support from Jennifer R and William R. “Billy” Frist is acknowledged in establishing the Frist Center for Autism and Innovation.

References

- [1] Larson E. New research: diversity + inclusion = better decision making at work [Internet]. New York: PARS International Corp.; 2017 Sep 21 [cited 2020 Sep 10]. Available from: <https://www.forbes.com/sites/eriklarson/2017/09/21/new-research-diversity-inclusion-better-decision-making-atwork/#759287aa4cbf>.
- [2] Courtney-Long EA, Carroll DD, Zhang QC, Stevens AC, Griffin-Blake S, Armour BS, et al. Prevalence of disability and disability type among adults—United States, 2013. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 2015;64(29):777–88.
- [3] Anderson WL, Armour BS, Finkelstein EA, Wiener JM. Estimates of state-level health-care expenditures associated with disability. *Public Health Rep* 2010;125(1):44–51.
- [4] Ma VY, Chan L, Carruthers KJ. Incidence, prevalence, costs, and impact on disability of common conditions requiring rehabilitation in the United States: stroke, spinal cord injury, traumatic brain injury, multiple sclerosis, osteoarthritis, rheumatoid arthritis, limb loss, and back pain. *Arch Phys Med Rehabil* 2014;95(5):986–995.e1.
- [5] Satariano WA, Guralnik JM, Jackson RJ, Marottoli RA, Phelan EA, Prohaska TR. Mobility and aging: new directions for public health action. *Am J Public Health* 2012;102(8):1508–15.
- [6] Rasinaho M, Hirvensalo M, Leinonen R, Lintunen T, Rantanen T. Motives for and barriers to physical activity among older adults with mobility limitations. *J Aging Phys Act* 2007;15(1):90–102.
- [7] Larson A, Bell M, Young AF. Clarifying the relationships between health and residential mobility. *Soc Sci Med* 2004;59(10):2149–60.
- [8] Farris RJ, Quintero HA, Goldfarb M. Preliminary evaluation of a powered lower limb orthosis to aid walking in paraplegic individuals. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng* 2011;19(6):652–9.
- [9] Ekelem A, Bastas G, Durrrough CM, Goldfarb M. Variable geometry stair ascent and descent controller for a powered lower limb exoskeleton. *J Med Devices* 2018;12(3):031009.
- [10] Tefertiller C, Hays K, Jones J, Jayaraman A, Hartigan C, Bushnik T, et al. Initial outcomes from a multicenter study utilizing the indego powered exoskeleton in spinal cord injury. *Top Spinal Cord Inj Rehabil* 2018;24(1):78–85.
- [11] World Health Organization; World Bank. World report on disability 2011. Geneva: World Health Organization; 2011.
- [12] Maenner MJ, Shaw KA, Baio J, Washington A, Patrick M, DiRienzo M, et al. Prevalence of autism spectrum disorder among children aged 8 years—autism and developmental disabilities monitoring network, 11 sites, United States, 2016. *MMWR Surveill Summ* 2020;69(4):1–12.
- [13] Mottron L, Dawson M, Soulières I, Hubert B, Burack J. Enhanced perceptual

- functioning in autism: an update, and eight principles of autistic perception. *J Autism Dev Disord* 2006;36(1):27–43.
- [14] Kunda M, Goel AK. Thinking in pictures as a cognitive account of autism. *J Autism Dev Disord* 2011;41(9):1157–77.
- [15] Wade J, Zhang L, Bian D, Fan J, Swanson A, Weitlauf A, et al. A gaze-contingent adaptive virtual reality driving environment for intervention in individuals with autism spectrum disorders. *ACM Trans Interact Intell Syst* 2016;6 (1):1–23.
- [16] Kunda M. Visual mental imagery: a view from artificial intelligence. *Cortex* 2018;105:155–72.
- [17] Zhang L, Fu Q, Swanson A, Weitlauf A, Warren Z, Sarkar N. Design and evaluation of a collaborative virtual environment (CoMove) for autism spectrum disorder intervention. *ACM Trans Access Comput* 2018;11(2):1–22.
- [18] Buescher AVS, Cidav Z, Knapp M, Mandell DS. Costs of autism spectrum disorders in the United Kingdom and the United States. *JAMA Pediatr* 2014;168(8):721–8.
- [19] Kuhn TS. *The structure of scientific revolutions*. 3rd ed. Chicago: University of Chicago Press; 1970.