

在临床研究[如阿尔茨海默病(Alzheimer's disease, AD)神经影像学计划]和治疗(如 Aducanumab^[7])中的使用推动了显像技术的广泛应用^[8]。(4)放射性药物和核医学正在亚洲、非洲以及拉丁美洲和加勒比地区的一些国家快速发展。例如,中国大约每 2 周就会安装 1 台新的 PET 仪^[9],非洲地区的国家(如尼日尔和毛里求斯)正计划建立核医学设施,而其他国家(如埃塞俄比亚和摩洛哥)正在扩建现有设施。与此同时,拉丁美洲和加勒比地区正在国际原子能机构(International Atomic Energy Agency, IAEA)技术合作项目的帮助下,努力解决放射性药物生产设施、法规和教育方面的复杂问题。(5)PET 显像技术被越来越多地用于协助治疗药物的研发^[10]。

全球核医学的迅速发展导致对放射性药物人员的需求激增,这引发了关于新一代放射性药物人才培养的讨论。例如,IAEA、美国国家科学基金会和能源部分别于 2002 年、2004 年撰写了关于放射化学教学和应用的报告^[11-12];美国国家科学院于 2007 年和 2012 年发表了 2 篇关于推进核医学发展并确保美国未来核化学技术知识领域先进地位的文章^[1,13]。这些报告都讨论了 1 个共同问题:下一代放射化学家和核科学家的培训机会(和相关资金)严重不足。此外,报告指出,该领域没有改变政策和(或)增加培训以解决短缺问题,甚至培训次数反而下降,而且这种趋势一直持续到现在。用于人才培养资金的减少(如美国能源部^[1]和巴西的教育研究危机^[14])以及大学入学人数的不断变化(如大学化学专业入学新生人数逐年下降^[15-16])是造成人才匮乏的主要原因。由于该领域的许多教职员和(或)专业人员无法接收高中、社区学院、本科生和(或)研究生进行培训,培养下一代放射性药物科学家的困难进一步加剧。例如放射科通常不能授予学生博士学位,且一些机构往往也不提供这一领域的培训(如巴西 415 所继续教育机构中,只有 28 所提供放射性药物培训^[17];加拿大的最后 1 次全面的放射性药剂学培训项目在 10 多年前就已结束)。该领域的许多教师和专业人士无法接收实习生。而医疗机构需要在药品生产质量管理规范(good manufacturing practice, GMP)监管体系下运营,有限的资源需要优先满足大量的临床需求,因此也无法提供足够的培训机会。目前,全球约有 600 套小型放射性药物制备设施,每个小分队通常只有不到 10 名固定员工;严格的监管环境、小型的设施和较小的团队规模使得可用于在职培训的基础设施和资源非常有限,导致招聘时可提供的工作机会很少且缺乏灵活性。除了临时的博士后研究职位或入门级技术职位外,几乎没有职位可提供给应届毕业生;而对于长期职位的招聘,雇主们更青睐具有 2~5 年工作经验的求职者。这些原因造成了受过专业教育的人才的流失。

目前,放射性药物的资源和基础设施密集型教育仅限于少数有专门培训项目的学术机构;另一方面,在研究型教育基金竞争性评估过程中,对专业培训和取得高影响力科学成果的重视程度不同。因此,通过设立教育奖学金或建立合作伙伴关系,可以将地方需求与国际研究型大学的科研工作联系在一起,从而产生巨大影响。此外,由于不同国家对放射性工作人员的政策不同,迄今为止还没有统一的全球教育教程,且一些国家可提供给外籍人才的职位有限,这都可能使

得放射性药物科学领域对某些学生的吸引力下降。

三、建议

基于此,特别工作组提出了一些解决人才短缺的建议,包括提供资金支持和创造培训机会。

1. 设立专门的放射性药物大学课程,如设立本科专业(Ünak^[18]曾提出了一个可行的方案)和技术人员的助理学位、开设硕博课程。

2. 设立针对研究生的国际/跨学科教育基金。

3. 考虑将放射性药物和(或)放射化学作为药学和化学专业的必修课。

4. 加大针对高中生、社区学院学生和本科生的宣传力度,创造实习机会,激发年轻学者对放射性药物科学的兴趣。

5. 在人才紧缺领域(如¹¹C 和¹⁸F 放射化学、PET 示踪剂动力学建模、医学物理学、临床前显像等领域)为学生提供实习机会,并召开讲习班。

6. 通过国家项目和学会为研究生学习提供奖学金。

7. 支持学生参加现有的培训课程和暑期学校[如每年在神经受体绘图或脑/脑 PET 会议前的 PET 药代动力学课程^[19]、美国化学会(American Chemical Society, ACS)的核与放射化学暑假学校^[20]、欧洲联盟的三维 PET 培训^[21]、伦敦国王学院的 PET 技术与应用课程^[22]、苏黎世理工学院与欧洲核医学学会的欧洲放射性药物研究生专业资格培训^[23]],并根据需要开发新的内容以填补培训空白。可以通过大学、政府机构(如能源部)、国际机构(如 IAEA)、SRS 等专业协会(如“第 1 次有机和卤素放射化学暑期及其在 PET 示踪剂开发中的应用”于 2020 年 8 月在伦敦举办),或者像巴西药学会委员会和巴西放射性药物协会这样的专业协会(过去 2 年中在该领域培训了数十位药剂师)来创造更多的培训机会。

8. 由专业协会(如 SRS)举办关于教育项目的网络研讨会。

9. 促使政府意识到向放射性药物和核医学的研究培训提供资金的必要性(特别工作组认为这一点至关重要)。

10. 为全球开展放射性药物教育和法规的活动增加资金。

11. 推动通过 IAEA 等机构进行国际合作,为研究和培训提供资金。

12. 促进国际科技交流与合作,统一编撰放射性药物科学的培训教材和证书。

13. 鼓励在临床生产环境中为研究生提供具有职业发展潜力的入门级职位。

14. 招聘并留住初级研究者,以替换该领域越来越多的退休人员。

志谢 Jason Lewis 教授(美国纽约州纪念斯隆凯特琳癌症中心)为该社论内容提供了宝贵的论述

参 考 文 献

- [1] National Research Council and Institute of Medicine Committee on State of the Science of Nuclear Medicine. Advancing nuclear medicine through innovation. Washington DC: National Academies Press; 2007 [173 pp].
- [2] Herrmann K, Schwaiger M, Lewis JS, Solomon SB, McNeil BJ, Baumann M, et al. Radiotheranostics: a roadmap for future development. *Lancet Oncol*. 2020;21(3):e146-56.
- [3] Committee on Science. The future of university nuclear science and

- engineering programs. U.S. House of Representatives Science Committee, sub-committee on Energy. Washington: U. S. Government Printing Office; 2004 121 pp <https://www.govinfo.gov/content/pkg/CHRG-108hrg87545/html/CHRG-108hrg87545.htm>.
- [4] Tanzey SS, Thompson S, Scott PJH, Brooks AF. Gallium-68; methodology and novel radiotracers for positron emission tomography (2012-2017). *Pharm Pat Anal.* 2018;7(5):193-227.
- [5] Zimmerman ME, Meyer AR, Rowe SP, Gorin MA. Imaging of prostate cancer with positron emission tomography. *Clin Adv Hematol Oncol.* 2019;17(8):455-63.
- [6] Nevedomskaya E, Baumgart SJ, Haendler B. Recent advances in prostate cancer treatment and drug discovery. *Int J Mol Sci.* 2018;19(5):1359.
- [7] Sevigny J, Chiao P, Bussière T, Weinreb PH, Williams L, Maier M, et al. The antibody aducanumab reduces A β plaques in Alzheimer's disease. *Nature.* 2016;537(7618):50-6.
- [8] Jack CR, Bennett DA, Blennow K, Carrillo MC, Dunn B, Haeberlein SB, et al. NIA-AA Research Framework: toward a biological definition of Alzheimer's disease. *Alzheimers Dement.* 2018;14(4):535-62.
- [9] Chen Y, Chen R, Zhou X, Liu J, Huang G. Report on the development and application of PET/CT in mainland China. *Oncotarget.* 2017;8(38):64417-26.
- [10] Elsinga P, van Waarde A, Paans A, Dierckx R, editors. Trends on the role of PET in drug development. Trends on the role of pet in drug development. *Worldwide Scientific*; 2012.
- [11] Rossbach M. Summary of the panel discussion on "Education of radiochemists.". *Czechoslov J Phys.* 2003;53(S1):A817-9.
- [12] Education in Nuclear Science. A status report and recommendations for the beginning of the 21st century, a report of the DOE/NSF Nuclear Science Advisory Committee Subcommittee on Education. 181 pp https://science.osti.gov/-/media/np/nsac/pdf/docs/nsac_cr_education_report_final.pdf; 2004.
- [13] National Research Council. Assuring a future U.S.-based nuclear and radiochemistry expertise. Washington D.C: The National Academies Press; 2012 220 pp <https://doi.org/10.17226/13308>.
- [14] De Moura EG, De Camargo Junior KR. The crisis in funding for research and graduate studies in Brazil. *Cad Saude Publica.* 2017;33(4):e00052917.
- [15] Widener A. By the numbers; chemistry graduate school enrollment remains flat in the US 2004-14. *C & E News.* 2015;93:28-9.
- [16] Burke M. Declining university chemistry applications. Internet <https://eic.rsc.org/analysis/declining-university-chemistry-applications/3009543.article>. [Accessed 30 April 2020].
- [17] Santos-Oliveira R, Albernaz M. Radiopharmacy education in Brazil. *Arch Pharm Pract.* 2014;5(3):101.
- [18] Ünak T. An ideal teaching program of nuclear chemistry in the undergraduate chemistry curriculum. *J Radioanal Nucl Chem.* 2009;280(2):223-6.
- [19] Maguire RP, Leenders KL, editors. PET pharmacokinetic course manual. University of Groningen, Groningen, The Netherlands, and McGill University, Canada; 2003.
- [20] PET imaging in drug design & development. Internet <https://www.pet3d.eu>. [Accessed 30 April 2020].
- [21] Nuclear and radiochemistry summer schools. Internet https://www.nucl-acs.org/?page_id=15. [Accessed 30 April 2020].
- [22] PET; technology and application. Internet <https://www1.kcl.ac.uk/prospectus/shortcourses/index/name/pet2020>. [Accessed 30 April 2020].
- [23] Radiopharmacy certification. Internet <https://www.eanm.org/esmit/radiopharmacycourse-2/>. [Accessed 30 April 2020].

(收稿日期:2021-04-12)

· 读者 · 作者 · 编者 ·

本刊有关文章涉及课题基金项目的标注要求

论文所涉及的课题如取得国家或部、省级以上基金或属攻关项目,应列出(双语著录)。中英文基金项目分别置于中文关键词、英文 Key words 下方,如“基金项目:国家自然科学基金(39570835)”、“Fund program: National Natural Science Foundation of China (39570835)”,并附基金证书复印件。

本刊编辑部