·管理纵横·

2014 至 2023 年国家自然科学基金生物医学工程/再生医学方向的资助情况分析

刘冰川[1,2] 周子健[1,3] 郭伟圣[1,4] 蒋景英[1,5] 曹河圻[1*]

1. 国家自然科学基金委员会 医学科学部,北京 100085
2. 北京大学第三医院 骨科,北京 100191
3. 厦门大学 分子影像暨转化医学研究中心,厦门 361102
4. 广州医科大学 生物医学工程学院,广州 511430
5. 北京航空航天大学 医学科学与工程学院,北京 100191

[摘 要] 本文汇总 2014—2023 年国家自然科学基金委员会医学科学部在生物医学工程/再生医学方向面上项目、青年科学基金项目与地区科学基金项目(简称“面青地项目”)的申请与资助情况,同时分析近 10 年相关领域的文献报道热点,为该领域的进一步高水平发展提供参考依据。回顾性收集代码 H28 下面青地项目的申请与资助数据资料,主要包括:资助项数与资助经费、资助项目所在依托单位与省市分布、获资助申请人的年龄与职称分布、获资助项目申请书的关键词等内容。同时,基于 Web of Science 数据库对近 10 年发表的相关方向文献关键词进行汇总,利用 CiteSpace 6.2.R4 软件对关键词的热点聚类及时间分布进行分析。通过分析发现:在 2014—2023 年中,生物医学工程/再生医学方向共资助面青地项目 1 279 项,包括面上项目 623 项、青年科学基金项目 599 项和地区科学基金项目 57 项,资助经费 50 799 万元。其中 2014 年的资助项目数最少,2023 年的资助项目数最多。该方向的项目资助主要集中在 H2808、H2809 及 H2810,3 个代码获资助项目数与经费总和分别占全部项目的 65.9%及 64.6%。上海市、上海交通大学分别是获资助项目数最多的地区、依托单位,分别占比 14.7%和 7.0%。31～35 岁的申请人获资助项目数最多,共 507 项,占比 39.6%。近 10 年该方向获资助面青地项目申请书中出现频率最高的中英文关键词都与纳米相关(纳米药物和 nanomedicine),而在 Web of Science 数据库中已发表相关方向文献的热门关键词包括 biomedical engineering、tissue engineering、biomedical applications 等。近年来,国家自然科学基金委员会医学科学部对生物医学工程/再生医学方向面青地项目的资助呈稳步上升趋势,资助领域广泛且重点明确,逐步建立以青年科研人员为主体的人才梯队。

[关键词] 项目资助;研究进展;生物医学工程;再生医学;国家自然科学基金

曹河圻 国家自然科学基金委员会医学科学部医学五处处长。目前主要从事科学基金的管理工作。

刘冰川 北京大学第三医院骨科主治医师。主要研究方向为脊柱与四肢骨折临床诊疗、四肢骨感染与骨缺损的治疗、脊髓神经损伤修复、新型医用生物材料的研发等,在相关领域发表 SCI 论文十余篇。

收稿日期:2023-12-25;修回日期:2024-02-17
* 通信作者,Email:caohq@nsfc.gov.cn

国家自然科学基金委员会(以下简称“自然科学基金委”)自 1986 年成立以来始终坚持面向人民生命健康、探索医学发展基本规律、资助创新性基础研究并推动临床转化,最终造福广大人民。2016 年,中共中央、国务院印发《“健康中国 2030”规划纲要》,指出“发展组学技术、干细胞与再生医学、新型疫苗、生物治疗等医学前沿技术,加强慢病防控、精准医学、智慧医疗等关键技术突破”,其中发展再生医学相关前沿技术被列入“健康中国 2030”的目标。自然科学基金委医学科学部针对生物医学工程/再生医学研究方向专门设立了一级学科代码(H28)及相应的 14 个二级代码(H2801～H2814),鼓励多学科交叉的生物医学诊疗新方法、新系统、新机制的前沿探究,注重以临床问题为导向的具有应用转化潜力的医用生物材料和纳米医学的研究创新[1]。

本文对 2014—2023 年生物医学工程/再生医学方向(申请代码 H2801～H2814)资助的面上项目、青年科学基金项目(以下简称“青年项目”)与地区科学基金项目(以下简称“地区项目”)资料进行总结与分析,这三种类型项目简称“面青地项目”。同时,我们对 2014—2023 年 Web of Science 数据库收录的相关研究方向文献进行回顾性汇总,采用关键词共现图谱的方式展现该方向的发展变化与规律,分析文献关键词的热点聚类及时间分布特征。最后,结合这两方面数据的分析结果,本研究将系统阐述生物医学工程/再生医学领域的研究热点及现状,为推动我国相关领域的持续高水平发展提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 获资助项目的资料汇总

生物医学工程/再生医学方向包含的 14 个二级代码所对应的不同分支学科领域详见表 1。其中,代码 H2808～H2812 的申请与资助方向更侧重于再生医学。本文对该方向近 10 年资助的面青地项目资料进行汇总,重点关注资助项数与资助经费、获资助项目所在依托单位与省市分布、获资助申请人的年龄与职称分布、获资助项目的热门关键词等内容。

1.2 文献分析

以 Web of Science 数据库作为数据源,用“bioengineering”“biomedical engineering”“regenerative medicine”作为主题词进行文献检索,语言为英语,检索时间跨度为 2014—2023 年。剔除重复文献、会议报道、征文通知、述评等结果。应用 NoteExpress 软件对文献进行整理,并利用 CiteSpace 6.2.R4 软件对文献关键词的热点聚类及时间分布进行分析。采用关键词共现图谱的方式展现文献分析结果,图谱中依据关键词出现的频次及时间的差异形成不同大小、颜色及厚度的年轮,每个年轮代表一个研究热点,年轮越大代表频次越高,颜色越深代表文献发表时间越早。年轮之间的连线代表不同关键词之间的关联性。

2 结 果

2.1 资助项目数与资助经费

2014—2023 年,生物医学工程/再生医学方向共资助面青地项目 1 279 项,包括面上项目 623 项、青年项目 599 项与地区项目 57 项,总资助经费 50 799 万元。如图 1A 所示,该方向面青地项目的总资助项数在近 10 年间呈整体增长的趋势:2014 年的资助项目总数最少(共 113 项),包括面上项目 55 项、青年项目 53 项和地区项目 5 项,总资助经费 5 414 万元;2023 年的资助项目总数最多(共 144 项),包括面上项目 68 项、青年项目 69 项和地区项目 7 项,总资助经费 5 583 万元。图 1B 对不同二级代码的资助情况进行了分析,结果显示资助项目总数与总经费主要集中在 H2808、H2809 及 H2810,这 3 个代码所对应的资助项目总数与总经费分别是 351 项与 13 324 万元(H2808)、318 项与 12 342 万元(H2809)、174 项与 7 140 万元(H2810),这 3 个代码资助项目数与经费的总和分别占比 65.9%及

表 1 生物医学工程/再生医学不同代码所对应的分支学科领域

申请代码	分支学科领域
H2801	脑机交互、神经工程与康复工程
H2802	人体医学信号检测、识别、处理与分析
H2803	生物医学传感
H2804	电磁与物理治疗
H2805	生物医学系统建模及仿真
H2806	医学信息系统与远程医疗
H2807	治疗计划、导航与机器人辅助
H2808	纳米医学
H2809	医用生物材料与仿生材料
H2810	组织器官再生机制与调控
H2811	组织与器官构建
H2812	器官芯片与系统
H2813	检测及治疗的医学器件和仪器
H2814	生物医学工程/再生医学研究新技术与新方法

64.6%。2014—2023 年资助面青地项目总数及总经费最少的代码是 H2812，共资助 6 项（占比 0.5%），总经费 252 万元（占比 0.5%）。

2.2　资助项目的依托单位与地区分布

2014—2023 年，生物医学工程/再生医学方向面青地项目的获资助数存在一定的地区差异。如图 2A 所示，获资助项目总数前 5 名的省（自治区，直辖市）包括上海市（188 项，占比 14.7%）、江苏省（164 项，12.8%）、广东省（149 项，占比 11.6%）、北京市（140 项，占比 10.9%）与浙江省（89 项，占比 7.0%）。图 2B 汇总了获资助项目总数排在前 25 名的依托单位，前 5 名分别是上海交通大学（89 项，占比 7.0%）、浙江大学（50 项，占比 3.9%）、华中科技大学（37 项，占比 2.9%）、四川大学（34 项，占比 2.7%）与同济大学（29 项，占比 2.3%）。不同省市及依托单位的申请方向都主要集中在 H2808、H2809、H2810 等 3 个代码（图 3）。

2.3　获资助申请人的年龄与职称分布

如图 4A 所示，31～35 岁是生物医学工程/再生医学方向资助面青地项目总数最多的年龄段，共 507 项（占所有获资助项目的 39.6%）；同时，此年龄段也是申请人获得青年项目资助数最多的年龄段，共 366 项（占获资助青年项目的 61.1%）。获资助面上项目与地区项目最多的申请人年龄段都是 36～40 岁，包括面上项目 181 项（占获资助面上项目的 29.1%）与地区项目 19 项（占获资助地区项目的 33.3%）。如图 4B 所示，具有高级职称的申请人获资助的项目总数、面上项目数与地区项目数都是最多，包括项目总数 802 项（占所有获资助项目的 62.7%）、面上项目 585 项（占获资助面上项目的 93.9%）与地区项目 44 项（占获资助地区项目的 77.2%）。获资助青年项目的申请人主要是中级职称，共 372 项（占获资助青年项目的 62.1%）。

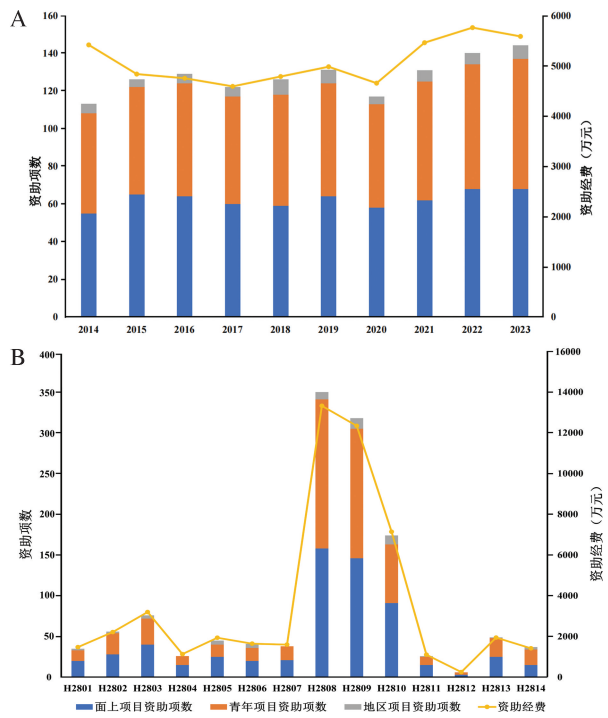

图 1　2014—2023 年不同年份及代码的面青地项目资助项数与资助经费：A. 不同年份，B. 不同代码

2.4　资助项目的中英文关键词分布

图 5 汇总了 2014—2023 年生物医学工程/再生医学方向资助面青地项目的高频关键词（频数前 40 名），出现频数位于前 10 名的中文关键词包括纳米药物、免疫治疗、药物递送、外泌体、肿瘤微环境、水凝胶、组织工程、肿瘤治疗、光热治疗、间充质干细胞，出现频数位于前 10 名的英文关键词包括 nanomedicine、drug delivery、immunotherapy、hydrogel、photothermal therapy、tissue engineering、tumor microenvironment、theranostics、biomaterials、breast cancer。

2.5　文献关键词的共现分析

本文共纳入 2014—2023 年生物医学工程/再生医学方向的英文文献 3 298 篇，图 6 是基于这些文献绘制的关键词共现图谱。Biomedical engineering、tissue engineering、biomedical applications、drug delivery、in vitro、mechanical property、scaffolds、tissue、mesenchymal stem cells、stem cells 等是出现频次排名前 10 的关键词，位于整个网络的核心位置，相互之间关联紧密。

3　讨　论

3.1　自然科学基金委的资金投入稳步提高

2021 年发布的《中华人民共和国国民经济和社会发展第十四个五年规划和 2035 年远景目标纲要》明确提出“全社会研发经费投入年均增长 7%以上、力争投入强度高于‘十三五’时期实际”。自然科学基金委作为我国基础研究、应用基础研究和人才队伍的主渠道之一，充分贯彻落实国家的科研战略部署，财政投入资金从 1986 年的 8 000 万元增长到 2023 年的 318.79 亿元，有效推动了我国基础研究事业的持续稳定发展[2]。同时，2022 年自然科学基金委共接收各类项目申请 306 939 项，首次突破 30 万项[3]；2023 年进一步同比增加 9 937 项，增幅

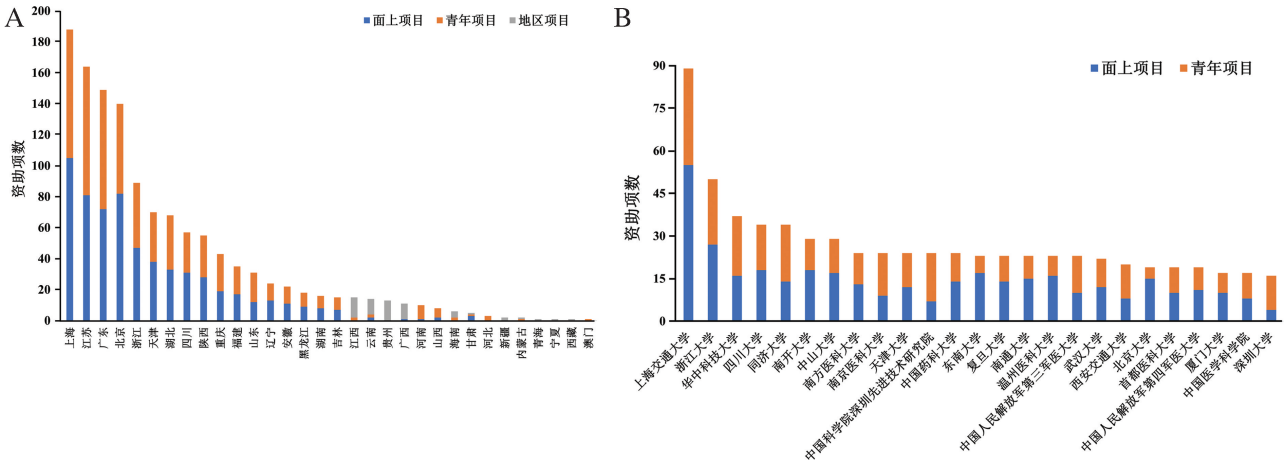

图 2 2014—2023 年不同省市及依托单位的面青地项目资助项数:A. 不同省市,B. 不同依托单位

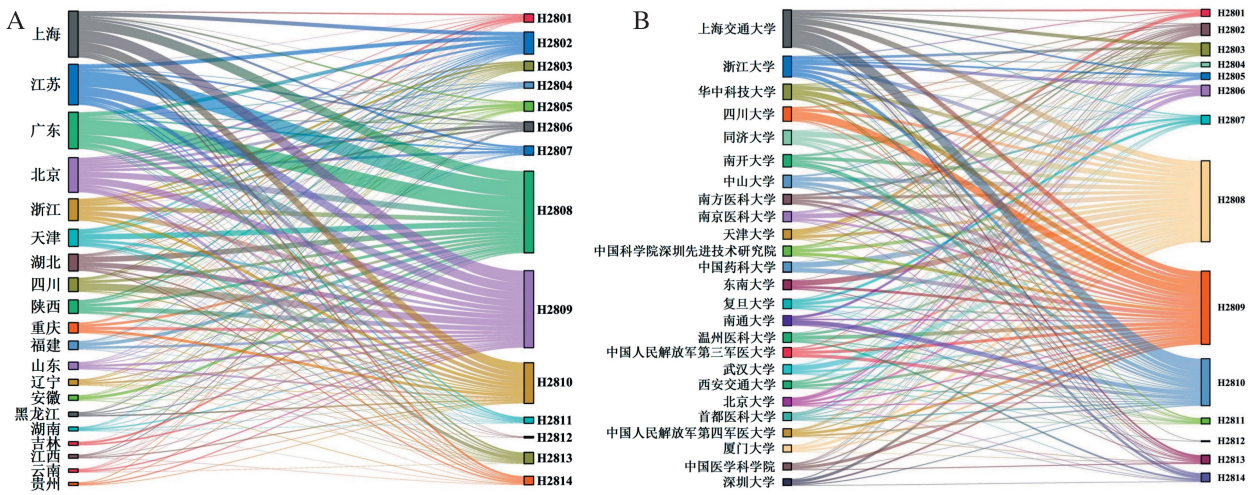

图 3 2014—2023 年不同省市及依托单位获资助面青地项目的不同代码分布

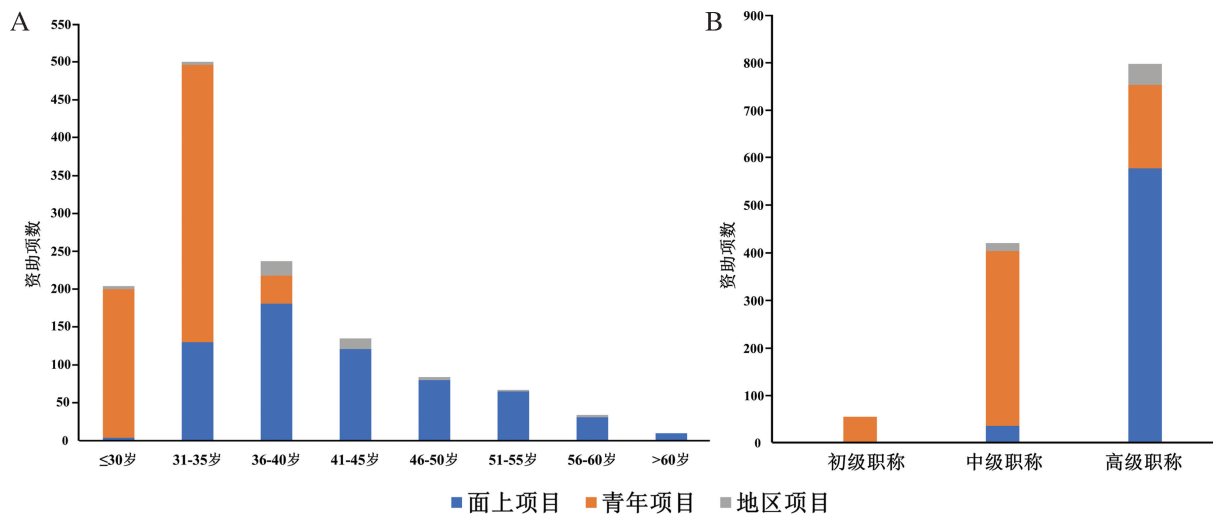

图 4 2014—2023 年不同年龄段及不同职称申请人的面青地项目资助项数

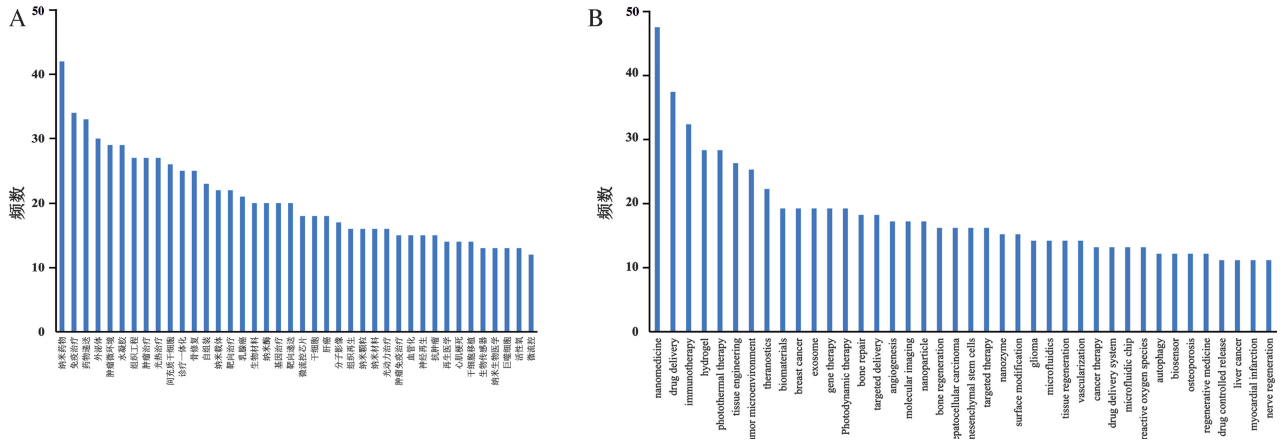

图 5　2014—2023 年资助项目的热门中英文关键词(频数前 40 名)

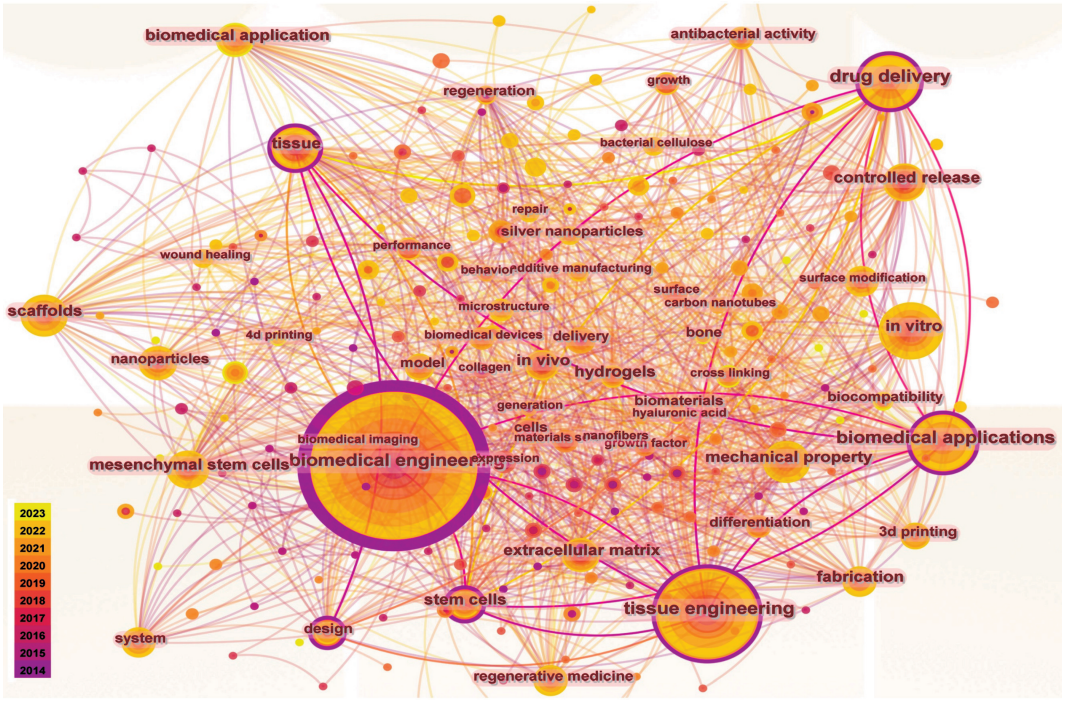

图 6　2014—2023 年 Web of Science 数据库生物医学工程/再生医学关键词共现图谱

3.38%[4]。2023 年，医学科学部生物医学工程/再生医学方向面青地项目资助总数是近 10 年的最多(共 144 项)，总资助经费为 5 583 万元。并且，在近 3 年中，面青地项目总资助项目数与资助经费均位列前 3 名，也体现了医学科学部生物医学工程/再生医学方向的资助强度呈现稳步提高的趋势。

3.2　申请项目未获得资助的综合分析

2023 年，医学科学部生物医学工程/再生医学方向共受理面青地项目 1 291 项，资助 144 项，总体资助率为 11.2%。综合来看，多方面原因导致所申请项目最终未获得资助。首先，申请项目不受理的原因主要包括：未按要求提供证明材料、推荐信、导师同意函、伦理委员会证明等附件材料，研究期限填写错误，不属于项目指南资助范畴，申请代码或研究领域选择错误，申请人不具备该类项目的申请资格等，这些与 2022 年的项目不受理原因基本一致[3]。对于那些受理但最终未获得资助的项目，原因主要包括：关键科学问题凝练不充分、创新性不足、前期研究基础薄弱、团队成员搭配合理性差、研究方案与

技术路线难以完成项目内容等。依托单位和申请人可以参考这些原因在下一年度的项目申请中进一步改进完善，一方面做到早定向、早组队、早积累，合理设计研究内容与实施方案，提前奠定基础；另一方面对于申请书的撰写既要充分凝练科学问题，又要避免因疏忽、遗忘等因素造成形式审查漏洞，可参考《凝练科学问题案例》等书籍[5]。申请人还需重视研究属性的合理选择，项目申请研究内容应从“自由探索类基础研究”和“目标导向类基础研究”选择一项，并围绕研究属性进行充分论述[6]。

3.3 不同地区及依托单位的项目分布存在差异

2014—2023 年，医学科学部生物医学工程/再生医学方向获资助面青地项目在经济和科技发达、高等院校和科研机构密集的地区相对集中，如上海、江苏、广东、北京、浙江等。并且，这些地区在生物医学工程方向获资助的重点项目也相对较多[7]。这体现了该领域的研究进展及学科建设仍存在一定的不均衡性及地区差异。为促进经济和科技欠发达地区基础科研的发展，自然科学基金委设立了地区项目和联合基金项目以加大支持力度，促进我国科研水平的整体均衡发展。近 10 年医学科学部生物医学工程/再生医学方向共资助地区项目 57 项，资助经费 2 013 万元。对于前期科研基础与科技发展相对较好的地区及依托单位，一方面应继续保持优势学科的发展势头和力度，巩固优势和特色学科，带头组建人才梯队，搭建“互帮互助”科研合作平台，在地区甚至全国发挥引领作用；另一方面也要兼顾本单位的弱势学科发展，拓宽研究领域及申报方向，实现“以点带面”。对于前期科研基础相对薄弱的地区及依托单位，建议适当加大资金与人员投入，激发科研人员创新积极性，发挥好依托单位的支撑、协调、管理、服务作用[8]，努力培育优秀的中青年科研人才。

3.4 青年科研人员成为获资助申请人的主力军

《2023 年度国家自然科学基金改革举措》中指出“稳步扩大青年科学基金项目资助规模，培养基础研究人才后备军”[1]，进一步强调了培养青年科研人才的重要性。青年科研人员具有较强的独立思考与创新科研能力，能够紧跟领域发展前沿，持续创新发展。2023 年，生物医学工程/再生医学方向共资助青年项目 69 项，此数量是近 10 年最多，相比 2022 年增长 4.5%。同时，2014—2023 年，生物医学工程/再生医学方向面青地项目资助数最多的年龄段都在 31～40 岁，分别占比 50.0%、67.3% 及 52.6%，表明 31～40 岁的青年科研人员已成为生物医学工程/再生医学方向获资助申请人的主力军。2023 年，该方向也资助了来自澳门大学的青年项目 1 项，贯彻《2023 年度国家自然科学基金改革举措》中提出的“继续面向香港特别行政区、澳门特别行政区依托单位青年科学技术人员开放青年科学基金项目申请，加强优秀青年人才培养”的战略部署[1]。2024 年度国家自然科学基金改革措施强调继续开展对优秀博士研究生、本科生的资助，为构建高水平基础研究人才队伍提供“源头活水”[6]。

3.5 生物医学工程/再生医学方向资助领域广泛且重点明确

2014—2023 年，在 H2801～H2814 等 14 个代码申请的面青地项目每年都获得资助，研究领域包括神经工程与康复工程、医学信息系统与远程医疗、医用生物材料与仿生材料、器官芯片与系统等多方面，内容囊括了生物医学工程/再生医学方向的各个领域。其中，项目申请与资助重点集中于 H2808、H2809 及 H2810 等 3 个代码，这 3 个代码共资助面青地项目 843 项（占比 65.9%），资助经费 32 806 万元（占比 64.6%）。并且，从获资助项目总数位于前 5 名的省（自治区、直辖市）及依托单位来看，申报方向也主要集中在这 3 个代码，研究重点也相对明确。2016 年，中共中央、国务院在《国家创新驱动发展战略纲要》中指出“重视基因组、干细胞、合成生物、再生医学等技术对生命科学、生物育种、工业生物领域的深刻影响，开发氢能、燃料电池等新一代能源技术，发挥纳米、石墨烯等技术对新材料产业发展的引领作用”，明确将再生医学与纳米技术列入重要发展方向，这与自然科学基金委医学科学部生物医学工程/再生医学方向的重点资助领域十分契合。申请代码 H2808、H2809 及 H2810 涉及了纳米医学、材料学、生命科学、临床医学、组织器官重构等多个领域，是多学科交叉共融的集中体现，它们的重点发展能够充分发挥“产—学—研—用”合作模式的优势，促进新增长点产生，培养交叉科学创新人才与团队，学科交叉融合是未来科学发展的必要趋势和加速科

技创新的重要驱动力[9]。

3.6　基于关键词的研究热点分析

关键词是文献及项目申请书内容的高度浓缩与凝练，关键词的分布频次与特征分析能够展示该领域的总体研究热点及内部联系[10]。根据 2014—2023 年生物医学工程/再生医学方向获资助面青地项目的申请书中英文关键词频数结果发现，近 10 年的申请热点集中在纳米医学（药物）、免疫治疗、药物递送、肿瘤治疗、组织工程新材料等领域。近 10 年国外文献的关键词共现图谱表明，tissue engineering、biomedical applications、drug delivery 等也是主要研究报道热点[11, 12]，这与获资助面青地项目的申请方向有较高的一致性。对于国内关于生物医学工程与医工结合相关研究的报道，前期的文献分析表明人工智能和医用材料是国内医工结合两大热门领域[13]，具体分支方向以深度学习、机器学习、卷积神经网络、脑机接口、生物材料为研究热点[14]，重点涉及 H2801、H2803、H2806～H2812 等代码。从国内外近 10 年已发表文献关键词分析结果来看，国内外围绕生物医学工程/再生医学方向的研究报道步调一致，着眼于解决重大科学问题及临床医学棘手难题。

4　总结与展望

国家自然科学基金在支持我国基础研究方面发挥着重要作用，有力地支撑了我国经济社会发展和高水平科技自立自强。自然科学基金委医学科学部自 2009 年 9 月成立以来，注重从科学问题出发，促进基础科研与临床医学相融合，生物医学工程/再生医学方向的发展得到很大的重视与支持。H2801～H2814 这 14 个代码的项目申请数量呈稳步上升趋势，不同代码相辅相成，既注重多领域均衡发展又有突出的学科重点方向，项目资助注重培养青年科研人员，逐步建立国家级人才梯队。

下一步工作中，自然科学基金委医学科学部将继续深入贯彻落实《“健康中国 2030”规划纲要》的战略部署，持续推进科学基金深化改革，进一步完善人才评价与资助体系。同时，鼓励依托单位及科研人员聚焦国家重大需求，强调原创性与重点突破性，推动基础研究与实践应用的更深层次交叉共融，为实现高水平科技自立自强的宏伟目标贡献力量。

参　考　文　献

[1] 国家自然科学基金委员会. 2023 年度国家自然科学基金项目指南. 北京：科学出版社，2023.

[2] 张丽婧，郭蕾. 国家自然科学基金项目资金管理变革与思考. 科技中国，2022(7)：26—31.

[3] 郝红全，赵英弘，杨好好，等. 2022 年度国家自然科学基金项目申请、评审与资助工作综述. 中国科学基金，2023，37(1)：3—6.

[4] 杨好好，郝红全，赵英弘，等. 2023 年度国家自然科学基金项目申请集中接收与受理情况分析. 中国科学基金，2023，37(5)：860—864.

[5] 本书编写组. 凝练科学问题案例. 北京：科学出版社，2023.

[6] 国家自然科学基金委员会. 2024 年度国家自然科学基金项目指南. 北京：科学出版社，2024.

[7] 李小虎，孙洪赞，余永强，等. 国家自然科学基金重点项目影像医学与生物医学工程领域 2010 至 2019 年资助情况分析. 中华放射学杂志，2021，55(1)：24—28.

[8] 薛建龙，徐骏军，费伟东，等. 依托单位国家自然科学基金全过程管理的探索与对策. 科技促进发展，2023，19(S1)：18—23.

[9] 韩启德. 科学基金推进交叉科学研究大有可为. 中国科学基金，2021，35(2)：169.

[10] 李晓霞，田婧毓，单艳华，等. 2010—2019 年国家自然科学基金资助口腔医学领域情况分析. 中华医学科研管理杂志，2022，35(5)：350—357.

[11] Lukin I，Erezuma I，Desimone MF，et al. Nanomaterial-based drug delivery of immunomodulatory factors for bone and cartilage tissue engineering. Biomaterials Advances，2023，154：213637.

[12] Adhikari B，Stager MA，Krebs MD. Cell-instructive biomaterials in tissue engineering and regenerative medicine. Journal of Biomedical Materials Research Part A，2023，111(5)：660—681.

[13] 艾华，薛文杰，武玥，等. 基于 Citespace 的国内医工结合研究的可视化分析. 中国医疗设备，2023，38(2)：113—119.

[14] 沈同平，阚红星，董尹，等. 基于知识图谱的国内生物医学工程研究可视化分析. 安庆师范大学学报（自然科学版），2019，25(2)：55—61.

Analysis of Funding from National Natural Science Foundation of China for Biomedical Engineering/Regenerative Medicine from 2014 to 2023

Bingchuan Liu[1, 2] Zijian Zhou[1, 3] Weisheng Guo[1, 4] Jingying Jiang[1, 5] Heqi Cao[1*]

1. *Department of Health Sciences, National Natural Science Foundation of China, Beijing* 100085
2. *Department of Orthopaedics, Peking University Third Hospital, Beijing* 100191
3. *Center for Molecular Imaging and Translational Medicine, Xiamen University, Xiamen* 361102
4. *Schoold of Biomedical Engineering, Guangzhou Medicine University, Guangzhou* 511430
5. *School of Engineering Medicine, Beihang University, Beijing* 100191

Abstract To summarize the application and funding status of Youth Program, General Program, Regional Program (fund for less developed regions) from National Natural Science Foundation of China in the fields of biomedical engineering/regenerative medicine from 2014 to 2023. At the same time, to analyze the literature hotspots in related fields during the past 10 years, providing reference for further high-level development. We retrospectively collected the application and funding data for General-Youth-Regional programs in H28, mainly including the number of funding items, the institution and province distribution of supporting items, the age and professional title distribution of funding applicants, and the keywords of funding items. Besides, we summarized the keywords of relevant literature published during the past 10 years based on the Web of Science database, and analyzed the hot clustering distribution using CiteSpace 6.2.R4 software. From 2014 to 2023, a total of 1 279 programs in the field of biomedical engineering/regenerative medicine were funded, including 623 General Programs, 599 Youth Programs, and 57 Regional Programs, with a total funding of 507.99 million yuan. The number of funded programs in 2014 was the lowest, the number of funded programs in 2023 is the highest. The funding direction was mainly concentrated in three codes: H2808, H2809, and H2810, with the number of supported programs and total funding accounting for 65.9% and 64.6%, respectively. Shanghai and Shanghai Jiao Tong University were the region and institute with the highest number of funded programs, accounting for 14.7% and 7.0% respectively. Applicants aged 31 to 35 received the most funding programs, with a total of 507, accounting for 39.6%. In the past 10 years, the most frequently appearing keywords in the application forms for General-Youth-Regional programs funded by this direction in both Chinese and English were both related to nano (nanodrug and nanomedicine), while the popular keywords in the Web of Science database that have published in this direction include biomedical engineering, tissue engineering, biomedical applications. The funding intensity of National Natural Science Foundation of China for biomedical engineering/regenerative medicine is steadily increasing, with broad and clear funding areas, and gradually establishing a talent pool mainly composed of young researchers.

Keywords program funding; research progress; biomedical engineering; regenerative medicine; National Natural Science Foundation of China

(责任编辑 陈 磊 张 强)

* Corresponding Author, Email: caohq@nsfc.gov.cn