

2013 至 2022 年国家自然科学基金核医学与分子影像领域研究项目资助情况分析

张茗昱^{1,2} 郭伟圣^{1,3} 周子健^{1,4} 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首都医科大学附属北京友谊医院核医学科,北京 100050;³广州医科大学生物医学工程学院,广州 511430;⁴厦门大学分子影像暨转化医学研究中心,厦门 361102

通信作者:曹河圻, Email: caohq@nsfc.gov.cn

【摘要】 目的 分析 2013 至 2022 年国家自然科学基金委员会(NSFC)在核医学与分子影像领域各类项目申请与资助情况,探讨该领域基础研究及临床转化面临的挑战。方法 回顾性收集 2013 至 2022 年 NSFC 医学科学部五处申请与资助的核医学与分子影像领域(二级代码 H2704、H2706)各类项目数据资料,分析该领域各类项目申请数量、资助数量、资助方向、资助强度、依托单位分布情况及研究热点等。结果 2013 至 2022 年,NSFC 共接收核医学与分子影像领域各类项目申请 5 397 项,总资助数量 899 项,申请与资助数量呈稳步增长趋势。整体资助强度从 2013 年的 4 893.50 万元增长至 2022 年的 5 949.54 万元,增幅 21.58%。在所有依托单位中,上海交通大学在申请数量(440 项)和资助数量(82 项)上位居首位,厦门大学在整体资助率上位居首位(25.42%, 30/118),北京大学的总资助金额最高(4 189.71 万元)。研究热点聚焦于肿瘤靶向分子探针的构建和肿瘤内部分子成分的精准显像等。结论 近 10 年 NSFC 在核医学与分子影像领域的资助项目数及总经费稳步增长,资助项目种类多样、学科交叉广泛,推动了我国核医学与分子影像学科的创新发展。

【关键词】 研究资助(主题);核医学;分子显像;国家自然科学基金

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230616-00171

Analysis of funding in nuclear medicine and molecular imaging research projects supported by National Natural Science Foundation of China from 2013 to 2022

Zhang Mingyu^{1,2}, Guo Weisheng^{1,3}, Zhou Zijian^{1,4}, Cao Heqi¹

¹Medical Science Department, National Natural Science Foundation of China, Beijing 100085, China;

²Department of Nuclear Medicine, Beijing Friendship Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China;

³School of Biomedical Engineering, Guangzhou Medicine University, Guangzhou 511430, China;

⁴Center for Molecular Imaging and Translational Medicine, Xiamen University, Xiamen 361102, China

Corresponding author: Cao Heqi, Email: caohq@nsfc.gov.cn

【Abstract】 Objective To analyze the application and funding status of various projects of nuclear medicine and molecular imaging supported by the National Natural Science Foundation of China (NSFC) from 2013 to 2022, and explore the challenges faced by basic research and clinical transformation in this field. **Methods** From 2013 to 2022, application and funding information of nuclear medicine and molecular imaging projects (secondary code H2704, H2706) from five departments of Medical Science Department of NSFC were retrospectively collected. The number of applications, number of funding, funding direction, funding intensity, distribution of supporting units and research hotspots of various projects in this field were analyzed. **Results** From 2013 to 2022, the total number of applications of various projects in the field of nuclear medicine and molecular imaging reached 5 387, and the total number of grants reached 899. The number of applications and grants showed a steady growth trend. The overall funding intensity increased from 48.935 0 million yuan in 2013 to 59.495 4 million yuan in 2022, with the increase of 21.58%. Among all supporting units, Shanghai Jiao Tong University topped the list for both the number of applications (440) and the number of grants (82), Xiamen University ranked the first in terms of overall funding rate (25.42%, 30/118), and Peking University ranked the first in terms of total funding intensity (41.897 1 million yuan). Research hotspots focused on the construction of tumor targeted molecular probes and precise imaging of tumor internal molecular components. **Conclusion** In the past decade, the number of related projects and total funding of nuclear medicine and molecular imaging supported by NSFC have steadily increased, and the types of funded projects are diverse and interdisciplinary, promoting the innovative development of nuclear medicine and molecular imaging disciplines in China.

【Key words】 Research support as topic; Nuclear medicine; Molecular imaging; National natural science foundation of China

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230616-00171

核医学与分子影像学是影像医学的重要组成部分,在保障全民健康、提高疾病诊疗效果等方面发挥重要的作用。2015 年我国开启了“精准医疗”计划,其中核医学与分子影像诊疗是实现疾病精准定位的重要技术途径,对持续推进疾病精准诊断、诊疗一体化、新药研发、医学转化以及产业转化至关重要^[1]。国家自然科学基金委员会(National Natural Science Foundation of China, NSFC)作为我国基础研究主要支持源头,不断引领精准诊疗创新科研发展,培养一批具有国际竞争力的高层次人才。本文就近 10 年核医学与分子影像领域的申请与资助情况进行深入分析,梳理该领域资助特点、研究现状、研究热点及发展前景,为推动我国核医学与分子影像基础研究的高水平发展提供参考依据。

资料与方法

1.数据来源。回顾性收集 2013 年 1 月 1 日至 2022 年 12 月 31 日间核医学与分子影像领域(二级代码为 H2704、H2706)各类项目[包括青年科学基金项目、面上项目、地区科学基金项目、优秀青年科学基金项目、国家杰出青年科学基金项目、创新研究群体项目、重点项目、重大项目、国际(地区)合作与交流项目、国家重大科研仪器研制项目、联合基金项目、外国学者研究基金项目、应急管理项目、重大研究计划及专项基金项目]的申请与资助情况、依托单位分布情况、人才项目分布情况及热点研究方向情况等数据资料。

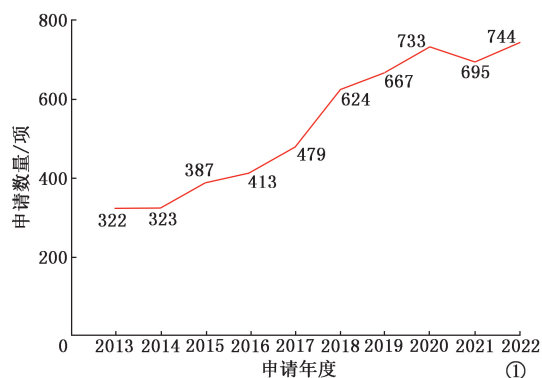
2.研究方法。汇总收集的数据资料,建立数据库。分别按年度和二级代码整理 2013 至 2022 年国家自然科学基金核医学与分子影像领域各类项目申请数量、资助数量以及相应的依托单位分布情况,分析核医学与分子影像领域整体科研态势的发展趋势;分析资助项目的主题内容及研究方向,归纳总结近 10 年该学科领域的研究热点及发展现状。

3.统计学分析。采用 Microsoft Excel 2019 进行数据汇总、统计学分析及制图。计算各类项目占比数值,根据题目关键词对热点研究方向进行归纳分析。

结果

1.核医学与分子影像领域项目申请与资助基本情况。

(1)各类项目申请情况(图 1)。2013 至 2022 年 NSFC 医学科学部五处共接收核医学与分子影像领域各类项目 5 387 项,其中核医学诊断与治疗(二级代码 H2704)总申请数量为 2 438 项,



分子影像(二级代码 H2706)总申请数量为 2 949 项,申请数量由 2013 年的 322 项,增长至 2022 年的 744 项,近 5 年该领域项目申请数量增长率为 79.98%。申请项目类型占比最多的为青年科学基金项目(44.11%,2 376/5 387)和面上项目(40.50%,2 182/5 387),并呈逐年递增的趋势。青年科学基金项目申请数量从 2013 年 104 项增长至 2022 年 373 项,申请数量增幅达 258.65%。2018 年 NSFC 医学科学部发布“肿瘤演进与诊疗的分子功能可视化研究”重大研究计划项目指南^[2],为核医学与分子影像提供了新的科研平台,重大研究计划类项目申请量明显上升,以 2018 年为著,申请数量达 99 项。

(2)各类项目资助情况(图 2)。2013 至 2022 年 NSFC 共资助核医学与分子影像领域各类项目 899 项,整体资助率为 16.69%(899/5 387),略高于医学科学部近 10 年平均资助率(15.73%)。资助类型包括面上项目(397 项)、青年科学基金项目(371 项)、地区科学基金项目(42 项)、重大研究计划(24 项)、国际(地区)合作与交流项目(21 项)、优秀青年科学基金项目(9 项)、应急管理项目(8 项)、国家重大科研仪器研制项目(7 项)、联合基金项目(6 项)、国家杰出青年科学基金项目(6 项)、专项基金项目(3 项)、重点项目(3 项)、外国学者研究基金项目(1 项)、创新研究群体项目(1 项)。总资助金额 56 118.3 万元,平均资助强度 62.42 万元。截止 2023 年 6 月,490 个项目顺利结题,406 个项目在研状态。通过检索结题成果,已发表期刊论文 4 816 篇,获批专利 525 项,获得奖励 230 项。

近 10 年,该领域资助立项数量稳中有升,2018 年和 2019 年资助数量达到高峰,分别为 103 项和 98 项,整体资助金额从 2013 年的 4 893.50 万元增长至 2022 年的 5 949.54 万元,资助金额增幅 21.58%。2018 年以来,NSFC 加大人才项目部署力度,稳定支持青年人才成长。从资助类型上看,核医学与分子影像领域在青年科学基金项目的立项资助稳步增长,从 2013 年的 29 项,增长至 2022 年的 39 项,资助数量增幅达 34.48%;资助金额从 2013 年的 671 万元增长至 2022 年的 1 170 万元。在青年人才培养方面,加强了优秀青年科学基金项目的资助,与 5 年前相比,近 5 年优秀青年科学基金项目从 2 项增长至 7 项,资助金额从 230 万元增长至 1 090 万元,5 年资助经费增长幅度为 373.91%。

(3)各类项目依托单位分布特点。2013 至 2022 年,核医学与分子影像领域项目申请数量排名前 10 位的依托单位

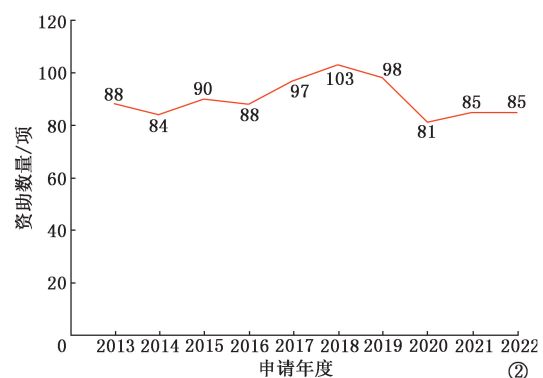


图 1 2013 至 2022 年国家自然科学基金核医学与分子影像领域(二级代码为 H2704、H2706)申请数量

图 2 2013 至 2022 年国家自然

科学基金核医学与分子影像领域(二级代码为 H2704、H2706)资助数量

见表 1。上海交通大学申请数量和资助数量位居首位,资助率位居第 3 位。厦门大学在申请数量上并不占优势,位居第 10 位,然而在资助率上表现出明显的优势,资助率达 25.42% (30/118),位居资助率首位。在资助经费方面,北京大学的总资助金额最高,为 4 189.71 万元(包含 1 项创新研究群体项目、1 项国家重大科研仪器研制项目),平均资助金额为 123.23 万元。

在人才项目方面,NSFC 资助的核医学与分子影像领域优秀青年项目(厦门大学 2 项、北京理工大学 1 项、同济大学 1 项、南京医科大学 1 项、苏州大学 1 项、中国人民解放军第四军医大学 1 项)、杰出青年项目(浙江大学 2 项、厦门大学 1 项、东南大学 1 项、复旦大学 1 项)12/15 分布于国内双一流高校,另外 3/15 分布于中国人民解放军总医院(杰出青年项目 1 项)、澳门大学(优秀青年项目 1 项)和北京市神经外科研究所(优秀青年项目 1 项)。

2.核医学与分子影像领域研究热点及现状分析。(1)研究热点。分析近 10 年 NSFC 资助的除优秀青年科学基金项目、国家杰出青年科学基金项目和重大科研仪器研制项目以外的 877 项核医学与分子影像项目,对资助项目进行疾病分类,分为肿瘤类(69.33%,608/877)和非肿瘤类(30.67%,269/877)项目。

在肿瘤类项目中,以广谱肿瘤分子显像的资助率最高(25.82%,157/608),研究方向主要涉及靶向分子探针的构建

和肿瘤内部分子成分的精准显像;其次,研究热点集中在消化系统肿瘤(19.24%,117/608)、乳腺癌(13.65%,83/608)、肺癌(10.53%,64/608)、甲状腺癌(8.55%,52/608)等高发病率、高死亡率的恶性实体肿瘤。在非肿瘤类项目中,以神经系统疾病(25.28%,68/269)、心脏疾病(23.79%,64/269)及血管疾病(11.52%,31/269)资助率较高。

(2)核医学与分子影像诊疗设备研究现状。近 10 年,NSFC 医学科学部五处共资助核医学与分子影像领域国家重大科研仪器研制项目 7 项(表 2),总资助金额达 11 817.74 万元,从显微成像系统的研制发展到分子时间智能检测仪器的研制,依托单位分布于我国华北、东北、西北、华东等多个地区,引领我国先进设备的原创发展。

(3)核医学与分子影像大项目研究现状。近 10 年,核医学与分子影像领域共申请重大项目、重点项目、重大研究计划、联合基金项目、国际(地区)合作与交流项目及创新研究群体项目 396 项,最终资助 55 项,资助率为 13.89%(55/396),总资助金额达 10 443.06 万元。其中资助强度大于 100 万的项目共 28 项,总资助金额为 9 211 万元,资助金额占有所有大项目的 88.20%(9 211/10 443)。

(4)核医学与分子影像重点类项目研究现状。近 10 年核医学与分子影像领域围绕肿瘤及血管疾病精准诊疗获批了 3 项重点项目(表 3),总资助金额达 823 万元,目前项目均顺利结题。

表 1 2013 至 2022 年国家自然科学基金核医学与分子影像领域申请数量前 10 位的依托单位获资助情况

排名	依托单位	申请数量(项)	资助数量(项)	资助率	总资助金额(万元)	平均资助金额(万元)
1	上海交通大学	440	82	18.64%(82/440)	3 740.00	45.61
2	复旦大学	295	49	16.61%(49/295)	3 241.04	66.14
3	中山大学	244	35	14.34%(35/244)	1 330.00	38.00
4	华中科技大学	192	40	20.83%(40/192)	1 729.00	43.23
5	北京大学	185	34	18.38%(34/185)	4 189.71	123.23
6	浙江大学	181	20	11.05%(20/181)	2 135.45	106.77
7	同济大学	162	22	13.58%(22/162)	1 129.00	51.32
8	苏州大学	140	23	16.43%(23/140)	1 231.00	53.52
9	南方医科大学	137	18	13.14%(18/137)	744.00	41.33
10	厦门大学	118	30	25.42%(30/118)	1 860.00	62.00

表 2 2013 至 2022 年国家自然科学基金核医学与分子影像领域国家重大科研仪器研制项目资助情况

立项年度	项目名称	依托单位
2014	用于小动物活体成像的光片显微成像系统研制	中国科学院西安光学精密机械研究所
2015	面向猴脑科学研究的高清晰磁兼容 PET 成像系统	中国科学院深圳先进技术研究院
2016	多核素同步一体化肿瘤分子成像仪器研制	哈尔滨医科大学
2017	面向全四维动态成像的精准自适应大动物 SPECT/CT 一体化成像设备研制	中国医学科学院阜外医院
2019	人工智能引导自适应成像的全环 SPECT-CT 设备研制	北京大学
2020	核磁光电一体化实时同步脑成像设备研制	山西医科大学
2022	用于实体瘤侵袭多分子事件研究的智能拉曼检测仪器研制	复旦大学

表 3 2013 至 2022 年国家自然科学基金核医学与分子影像领域重点项目资助情况

立项年度	项目名称	依托单位
2015	面向胃癌高分辨成像与精准诊疗纳米探针的基础研究	中国科学院化学研究所
2015	新型多靶点纳米探针针对动脉粥样硬化易损斑块高分辨精准诊治的分子影像研究	中国人民解放军总医院
2016	基底样乳腺癌的靶向多模态分子影像研究	华中科技大学

讨 论

过去 10 年,国家自然科学基金核医学与分子影像领域的整体申请率逐年上涨,2020 至 2022 年连续 3 年申请总数突破 5 000 项,但整体资助率自 2019 年开始有所下降,低于近 10 年整体平均资助率(15.73%)。深入分析近 10 年核医学与分子影像领域申请与资助数据,青年科学基金项目 and 面上项目申请数量占有申请类型的前 2 位,面上项目资助数量占有资助类型的比例高于青年科学基金项目[44.15%(397/899)和 41.27%(371/899)]。从申请和资助幅度上分析,核医学与分子影像领域青年科学基金申请数量增幅最大(258.65%),资助数量增幅为 34.48%,符合 NSFC 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的政策。青年科学基金是国家自然科学基金中资助学科领域最广的项目类型之一,是青年人才的第一个国家级课题,支持青年人才在科学基金资助范围内自主选题开展基础研究工作,注重培养青年人才独立主持科研项目、开展创新研究的能力,激发青年人才的科研热情,为我国核医学与分子影像领域孕育后继人才。

2018 年以来,NSFC 持续推进科学基金系统性改革,加大人才项目部署力度,稳定支持青年人才成长。国家杰出青年科学基金项目由 200 项增加到 315 项,优秀青年科学基金项目由 400 项增加到 630 项,取消国家杰出青年科学基金项目、优秀青年科学基金项目对非华裔外籍申请人的限制,设立优秀青年科学基金项目(港澳)、优秀青年科学基金项目(海外),人才资助体系稳步升级^[3]。在核医学与分子影像领域,2013 至 2022 年 NSFC 共资助国家杰出青年基金项目 6 项,优秀青年科学基金项目 9 项[其中优秀青年科学基金项目(海外)1 项],基本稳定每年 1~2 项人才项目的部署。国家杰出青年科学基金自 1994 年设立以来,资助的青年科技人才大多已成长为领域内学术带头人,成为建设创新型国家的主力军,不断引领中国分子影像基础研究和科技创新的发展。近 10 年,以“杰出青年”为中心的人才辐射效应推动了我国活细胞示踪与转化、纳米探针精准诊疗、放射性核素诊疗一体化、重大疾病分子影像诊断等领域的发展,并培养了一批具有学科专业性及医工交叉特色的青年接班人才。NSFC 自 2012 年设立优秀青年科学基金人才项目,与国家杰出青年科学基金形成有效衔接,助力创新型青年人才的快速成长。近 10 年,核医学与分子影像领域青年人才聚焦于肿瘤诊疗一体化分子探针的研制、多模态分子影像精准诊断、肿瘤微环境分子成像、基于人工智能的图像质量提升等研究方向,借助核医学显像、光学成像、磁共振成像,融合生物医学工程、计算机技术等开展精准诊疗前沿研究,为提高重大疾病的早期筛查、疗效评估的精确度提供基础研究,为精准诊疗提供新技术、新手段、新方法。

近 10 年,核医学与分子影像领域在肿瘤类项目的研究热点聚焦于肿瘤免疫检查点靶向显像、肿瘤微环境显像、T 细胞示踪显像及肿瘤免疫治疗效果评估等方面^[4-7],研究内容涉及多模态分子探针的构建、多模态分子探针的诊疗一体化研究、关键靶点的精准显像及早期诊断、甲状腺碘摄取及碘治疗机制的研究^[8-11]。在非肿瘤类项目中,研究内容主要

涉及于神经系统退行性疾病(帕金森病、阿尔茨海默症)的早期诊断及脑网络研究、心肌缺血及心肌梗死的分子影像评价、易损斑块早期诊断及治疗。近 5 年,分子影像指导下的诊疗一体化技术推动了精准医学的发展,不同疾病都会有不同关键靶点的分子特征,在分子影像的指导下首先实现靶点的可视化监测,随后针对相应靶点构建放射性核素治疗药物、靶向纳米药物、免疫治疗药物等,最终达到疾病诊疗一体化的目的^[12-14]。NSFC 针对分子影像引导下的诊疗一体化的研究资助逐年上涨,尤其是诊疗一体化探针的构建及临床前研究在广谱肿瘤中的应用,为肿瘤疾病的精准诊疗提供新范式。

近 10 年,55 个大项目[重点项目、重大研究计划、联合基金项目、国际(地区)合作与交流项目及创新研究群体项目]中 67.27%(37/55)为肿瘤相关早期识别与诊断、实时显像、靶向探针构建及诊疗一体化研究。项目依托单位大多为国内“985”“双一流”高校,北京大学(6 项)、复旦大学(4 项)位居承担项目数的前 2 位。2018 年 NSFC 发布“肿瘤演进与诊疗的分子功能可视化研究”重大研究计划项目指南^[2],为核医学与分子影像领域专家提供了研究平台,充分发挥分子影像活体示踪、靶向显像的优势,解析肿瘤类疾病分子演变基础及微环境变化特点,明确肿瘤演进阶段的生物学表征和恶性本质及影像-病理-组学融合诊断意义。2018 年和 2019 年 2 个二级代码(H2704、H2706)重大研究计划项目的申请数量和资助数量达到高峰。2010 年核医学与分子影像领域立项首个重大项目《胃癌恶性生物学行为的分子影像基础研究》(由第四军医大学为依托单位牵头),形成了多学科交叉的创新研究团队,为该领域培养了多位高层次人才。近 10 年核医学与分子影像在重大项目类型资助尚属空白,仍需要提升该领域科研人员的研究层次、提高研究水平,面向影像前沿和国家科技发展的重大需求中的科学问题,开展以核医学与分子影像为引领带动多学科交叉的综合性研究,提升我国分子影像基础研究的创新能力。

重大科研仪器研制项目是面向科学前沿、国家需求,以科学目标为导向的原创性科学仪器与核心部件的研制项目,代表了我国综合科研实力。医学领域科研仪器项目的布局极大地提升了医学科学仪器研制的原创能力,同时也培养了大量医工交叉等领域的人才。近 10 年,核医学与分子影像领域共资助了 7 项重大科研仪器研制项目,总资助金额达 11 817.74 万元,充分体现了对国产分子影像成像设备基础研发的重点支持。近年来,国产高端分子影像装备从无到有,并进入快速发展阶段,突破既往的跟随模仿,全面进入自主创新时代,助力微小病灶的精准诊疗,让患者获益最大化。现代医学诊疗的进步依赖并促进精准成像设备的发展,国产医疗设备产业亟需掌握更多高端医疗设备自主知识产权和技术创新。NSFC 设立的国家重大科研仪器研制项目为加大科技人才队伍的培养力度,加快推进医疗设备领域核心技术攻坚克难,为国产高端医疗设备的创新及改进提供人才保障和技术支撑。

2015 年 3 月我国启动“精准医学”计划,旨在应用生物学、遗传学、分子影像等现代高新技术,结合宿主内外环境和临床大数据实现精确的、实时动态的肿瘤分类与诊断,制定个性化的预防、诊疗方案^[15]。核医学与分子影像是影像医学的一个重要分支,是实现疾病演进可视化进而提高对疾病

认知的重要新技术。作为精准医学的重要桥梁,核医学与分子影像在体分子靶点精准识别的优势将发挥重大的引领作用。国家自然科学基金在引领学科建设中充分发挥学科独特性的优势,以支持基础研究为主线,全方位、多维度设立不同层次基金项目,支撑分子影像领域基础建设,均衡地区间学科发展,鼓励学科交叉,形成以在体分子成像理论、重大疾病早期预警、疾病进展可视化评估及生命健康多模态影像解析的多维度创新研究,以基础研究助力临床诊疗,近 10 年各类项目资助稳中有升、资助强度逐年加大、人才体系不断完善,推动了我国核医学与分子影像基础研究的可持续性发展。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 张茗昱:研究实施、数据分析、论文撰写;郭伟圣、周子健:数据采集、论文指导;曹河圻:研究指导、论文修改

参 考 文 献

- [1] 詹启敏.中国精准医学发展的战略需求和重点任务[J].中华神经创伤外科电子杂志, 2015, 1(5): 1-3. DOI:10.3877/cma.j.issn.2095-9141.2015.05.001.
Zhan QM. Strategy and the main task of China's precision medicine [J]. Chin J Neurotrauma Surg (Electronic Edition), 2015, 1(5): 1-3. DOI:10.3877/cma.j.issn.2095-9141.2015.05.001.
- [2] 国家自然科学基金委员会. 2018 年度国家自然科学基金项目指南[M].北京:科学出版社, 2018.
National Natural Science Foundation of China. Guidelines for National Natural Science Foundation Projects in 2018[M]. Beijing: China Science Publishing & Media Ltd, 2018.
- [3] 张韶阳,雷蓉,高阵雨,等.持续升级科学基金人才资助体系为基础研究高质量发展提供有力支撑[J].中国科学基金, 2022, 36(5): 765-771. DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2022.05.018.
Zhang SY, Lei R, Gao ZY, et al. Continuously upgrading the talent funding system of the Science Foundation to provide strong support for high-quality development of basic research[J]. Bulletin of National Natural Science Foundation of China, 2022, 36(5): 765-771. DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2022.05.018.
- [4] Lu D, Zhou H, Li N, et al. Galectin expression detected by ⁶⁸Ga-galectracer PET as a predictive biomarker of radiotherapy resistance [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 49(8): 2746-2760. DOI:10.1007/s00259-022-05711-1.
- [5] Guo X, Zhou N, Chen Z, et al. Construction of ¹²⁴I-trastuzumab for noninvasive PET imaging of HER2 expression: from patient-derived xenograft models to gastric cancer patients [J]. Gastric Cancer, 2020, 23(4): 614-626. DOI:10.1007/s10120-019-01035-6.
- [6] Xu P, Hu L, Yu C, et al. Unsymmetrical cyanine dye via *in vivo* hitchhiking endogenous albumin affords high-performance NIR-II/photoacoustic imaging and photothermal therapy [J]. J Nanobiotechnol, 2021, 19(1): 334. DOI:10.1186/s12951-021-01075-0.
- [7] 魏伟军,黄钢,刘建军.免疫 PET/SPECT 显像:精准医学时代伴随诊断新范式[J].中华核医学与分子影像杂志, 2022, 42(2): 65-67. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220106-00004.
Wei WJ, Huang G, Liu JJ. ImmunoPET/SPECT: modal companion diagnostics in precision medicine [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2022, 42(2): 65-67. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20220106-00004.
- [8] Xu X, Yuan L, Gai Y, et al. Targeted radiotherapy of pigmented melanoma with ¹³¹I-5-IPN [J]. J Exp Clin Cancer Res, 2018, 37(1): 306. DOI:10.1186/s13046-018-0983-0.
- [9] Yang Z, Xu M, Zhang C, et al. A predictive model using left atrial function and B-type natriuretic peptide level in predicting the recurrence of early persistent atrial fibrillation after radiofrequency ablation [J]. Clin Cardiol, 2021, 44(3): 407-414. DOI:10.1002/clc.23557.
- [10] Du R, Zhu X, Wu S, et al. PET imaging of metabolic changes after neural stem cells and GABA progenitor cells transplantation in a rat model of temporal lobe epilepsy [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2019, 46(11): 2392-2397. DOI:10.1007/s00259-019-04408-2.
- [11] 朱华,杨志.肿瘤新型放射性药物的研发与应用[J].中华核医学与分子影像杂志, 2021, 41(10): 577-579. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210824-00293.
Zhu H, Yang Z. Development and application of novel radiopharmaceuticals for tumor [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2021, 41(10): 577-579. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20210824-00293.
- [12] Ding J, Tong A, Hacker M, et al. Usefulness of ⁶⁸Ga-Pentixafor PET/CT on diagnosis and management of Cushing syndrome [J]. Clin Nucl Med, 2022, 47(8): 669-676. DOI:10.1097/RLU.0000000000004244.
- [13] Zhou W, Huang S, Jiang Y, et al. Automatic radiosynthesis and preclinical evaluation of ¹⁸F-AIF-PSMA-NF as a potential PET probe for prostate cancer imaging [J]. Amino Acids, 2021, 53(6): 929-938. DOI:10.1007/s00726-021-02997-7.
- [14] 兰晓莉,安锐.分子影像靶向诊断与治疗——恶性肿瘤精准诊疗的利器[J].中华核医学与分子影像杂志, 2020, 40(5): 257-259. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200323-00121.
Lan XL, An R. Molecular imaging and targeted therapy: a powerful tool for accurate diagnosis and treatment of malignant tumors [J]. Chin J Nucl Med Mol Imaging, 2020, 40(5): 257-259. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20200323-00121.
- [15] 王红阳.肿瘤精准诊疗的挑战与应对[J].海南医学, 2019, 30(z1): 29-34. DOI:10.3969/j.issn.1003-6350.2019.z1.006.
Wang HY. New challenges for precision oncology [J]. Hainan Med J, 2019, 30(z1): 29-34. DOI:10.3969/j.issn.1003-6350.2019.z1.006.

(收稿日期:2023-06-16)