

· 调查研究 ·

近十年国家自然科学基金对眼科学基础研究的资助分析及启示

王秀华¹ 杨永光¹ 张猛² 雷博¹¹河南省人民医院 河南省立眼科医院 河南省眼科研究所 郑州大学人民医院, 郑州 450003; ²中建七局地产集团企业策划与管理部, 郑州 450004

通信作者: 雷博, Email: bole99@126.com

【摘要】 目的 对近 10 年国家自然科学基金对眼科学基础研究项目的资助进行分析, 探讨眼科基础研究和应用基础研究的发展脉络, 为眼科领域科研人员了解不同专业基础研究的进展和资助申请提供参考信息。**方法** 统计近 10 年国家自然科学基金对眼科学领域的资助项目, 对获得资助的项目类别、项目名称、项目负责人、经费数额、项目依托单位、地域进行分析, 利用 VOSviewer 软件对关键词进行聚类分析。**结果** 近 10 年间, 眼科学研究领域获得国家自然科学基金立项数量和资助经费总体平稳, 约占医学部立项数和经费总量的 2%。立项项目中代表前沿和热点研究领域和方法的关键词逐渐增多。在各研究领域中, 视网膜脉络膜疾病、角膜和眼表疾病、青光眼视神经疾病立项数量占据前 3 位。研究项目主要落户在我国经济和教育发达地区。高层次人才项目主要集中在科研实力和底蕴雄厚的依托单位。**结论** 国家自然科学基金持续稳定的投入和支持在眼科学基础研究和人才培养方面起到了重要作用; 立项项目反映了我国研究热点的变迁, 眼科学新技术及其与交叉学科的融合促进了学科发展; 科研立项与经济、教育和科研的地域环境有一定关系。

【关键词】 眼科学; 国家自然科学基金; 基础研究; 研究热点; 聚类分析**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (81770949)

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20200610-00416

Analysis of National Natural Science Foundation of China grant support for basic research of ophthalmology during the past ten years

Wang Xiuhua, Yang Yongguang, Zhang Meng, Lei Bo

Henan Provincial People's Hospital, Henan Eye Hospital, Henan Eye Institute, People's Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003, China; Enterprise Planning and Management Department, Real Estate Groups Co., Ltd. of CSCEC 7th Division, Zhengzhou 450004, China

Corresponding author: Lei Bo, Email: bole99@126.com

【Abstract】 Objective To review the detail data of National Natural Science Foundation of China (NSFC) grant support during past decade and to analyze the tendency of basic and applied science researches in ophthalmology and vision science. **Methods** The detail data of grants supported by NSFC in the field of ophthalmology and vision science during 2010—2019 were collected. The project category, project name, principle investigator, amount of grant, supported institute and region distribution were analyzed. Cluster analysis of key words associated with the projects was performed with VOSviewer software. **Results** During the past decade, the number of projects and the total amount of funding from NSFC were stable in ophthalmology and vision science, which accounted for about 2% of medicine field. The number of keywords representing advanced researches, hotspots areas and methodologies increased. Retinal and choroidal diseases, corneal and ocular surface diseases, glaucoma and optic nerve diseases ranked in the top three in the granted projects. Granted projects mainly went to the well-developed areas in economy and education. The high-level talent projects primarily were in the institutes and universities with solid and profound scientific research background. **Conclusions** The sustained and stable support of NSFC plays a promoting role in the development of ophthalmology and vision science and talent cultivation. The new technology and its integration with interdisciplinary science promote the development of ophthalmology. Successfully granted projects appear to be related to the regional

environment of economy, education and scientific research background.

[Key words] Ophthalmology; National Natural Science Foundation of China; Basic research; Research hot topic; Cluster analysis

Fund program: National Natural Science Foundation of China (81770949)

DOI:10.3760/cma.j.cn115989-20200610-00416

眼是人体重要的感觉器官,大量的外界信息通过眼传递进入视觉中枢进行加工和整合,进而影响人体的生物学行为。眼的解剖结构及病理生理涉及中枢神经系统、血管系统、代谢、蛋白组学、基因组学、微生物学、物理光学等复杂生物学机制,是医学研究的重要领域之一。眼科应用基础研究采用交叉学科知识探讨眼病的发病机制和治疗靶点、从细胞生物学、分子遗传学、分子生物学等方面研究眼科疾病的致病机制和治疗手段,提高对眼病的诊疗技术,相关研究是推动眼科学发展的源动力。国家自然科学基金(National Natural Science Foundation, NSFC)的设立旨在资助创新性的基础研究和应用基础研究,鼓励科研人员聚焦前沿研究工作,探索医学发展的基本规律以及相关研究成果的临床转化。NSFC 是推进医学科学进步的主要手段,也是眼科科研工作者顺利开展重要研究项目、获得重大新发现、研发和推广新技术的主要途径之一。NSFC 以其评审公平、公正、高效的特点而具有较高的权威性,但科研人员的选题、写作、申报等过程均会影响 NSFC 资助的成功率。因此,分析 NSFC 资助的眼科学项目、探讨眼科基础研究和应用基础研究的发展脉络对眼科研究领域的科研人员了解基础研究的方向和资助现状具有借鉴意义,但目前缺乏相关研究信息。本研究对近 10 年 NSFC 资助的眼科学研究项目进行总结和分析,为眼科科研工作者申请 NSFC 资助的选题和申报提供参考。

1 资料与方法

1.1 立项项目选题情况检索及分析

登陆国家自然科学基金委网站(<http://www.nsf.gov.cn>)“项目检索与查询”栏目,选择面上项目、重点项目、重大项目、重大研究计划项目、青年科学基金项目、优秀项目、杰青项目、创新研究群体项目、国际(地区)合作研究项目,检索 2010—2019 年眼科学领域在 NSFC 的立项项目,收集获得资助的项目类别、项目名称、项目负责人、经费数额、依托单位、地域等信息。因地区基金、联合基金项目只针对特定省份,未做统计。

1.2 立项项目关键词检索及分析

登陆科学网(<http://fund.sciencenet.cn>)“基金栏目”,统计 2010—2019 年眼科学立项的 NSFC 项目关键词。由于 2018 年和 2019 年系统中未检索到项目关键词,因此根据项目名称和研究摘要进行人工赋词,并请眼科专家对所有关键词进行复核和规范。

利用 VOSviewer 软件对关键词进行共现聚类分析。将数据分为 2010—2014 年、2015—2019 年 2 个时间段。由于 10 年内有 1 635 项 NSFC 项目,其高频关键词数量较少,如果共现聚类分析的阈值太高易导致聚类主题数量较少,无法得到领域详细研究主题。若其阈值太低,如频率 ≥ 1 次,则所有关键词均出现,无法展示主要研究主题。故本文仅对每年出现频次 ≥ 2 次的关键词进行共现聚类分析。

1.3 NSFC 资助高层次人才项目情况检索及分析

检索 2010—2019 年获得的优青、杰青和创新研究群体等高层次人才项目,按姓名在 NSFC 共享服务网(<http://output.nsf.gov.cn/fundingQuery>)进行追踪检索,分析 NSFC 对人才及团队培养的支撑作用。

2 结果

2.1 NSFC 资助的眼科学基础研究主题聚类情况

2010—2014 年,NSFC 资助的眼科基础研究项目中高频关键词首先是视网膜和细胞,其次为基因、血管、角膜、糖尿病视网膜病变,然后是青光眼、白内障、干细胞、视神经、视网膜节细胞、信号通路,还有近视、视网膜色素变性、内皮细胞、突变、免疫、损伤、功能、机制等(图 1)。2015—2019 年,NSFC 资助的眼科基础研究中研究热点依然为细胞和视网膜,其次为基因、角膜、糖尿病视网膜病变、蛋白、干细胞、变性、损伤、机制、通路、白内障、黄斑变性、晶状体、新生血管、视网膜节细胞、受体、免疫、功能等,近视、视神经、上皮细胞、小胶质细胞、内皮细胞、视网膜色素上皮、线粒体、移植、调控、自噬、修复、再生等也是研究主题比较集中的领域(图 2)。

这些关键词体现的相关领域在研究主题的基础上相互交叉和融合,利用近年来的先进研究手段、技术和仪器作为技术支撑,构成了眼科基础研究和应用基础研究的选题和研究网络。

2.2 近 10 年间医学部和眼科学项目在 NSFC 立项情况

2010—2019 年,每年医学部和眼科学研究领域资助的各类项目数量基本稳定(表 1)。从面上项目来看,2017 年医学类与 2016 年比较项目数量增加,2016 年医学类项目数量与 2015 年比较显示为零增长,2013 年和 2014 年医学类资助项目数量与 2012 年比较呈负增长;眼科学 2014 年与 2013 年比较呈负增长。与 2010 年比,2011 年医学类和眼科学 NSFC 青年项目增长较快,增幅分别达 70.3% 和 67.5%,但随后年份增长数量出现起伏,整体上青年项目立项增长率高于面上项目。NSFC 重点项目、重大项目、重大研究计划项目和国际(地区)合作研究项目眼科学 1~9 项,占医学类总数的 1%~8%。关于优青项目和杰青项目,医学类 2015 年比 2014 年增加了 52 项,增加 67.5%,随后小幅波动,2019 年比 2018 年增加了 39 项,增幅为 34.5%,但 2010—2019 年眼科学每年立项 0~3 项,占医学部比例 0~4%。2010—2019 年眼科学 NSFC 立项占医学部的 1.8%~2.12%,眼科学项目获得资助经费占医学部的 1.76%~2.85%。2017 年眼科学获得重点项目 3 项、重大项目 5 项及国际合作项目 1 项,此外眼科学还获得创新研究群体项目 1 项,总经费为 4 960 万元,故 2017 年获得经费最高;其他年份经费基本与立项数量保持稳定(图 3)。

2.3 各类眼科疾病领域获资助情况

NSFC 对眼科学的资助体系,眼部疾病分类共有 11 个资助代码。对 2010—2019 年各类眼科疾病立项数量进行统计,获得立项数量最多的是 H1205 视网膜、脉络膜及玻璃体相关疾病,其次是 H1201 角膜与

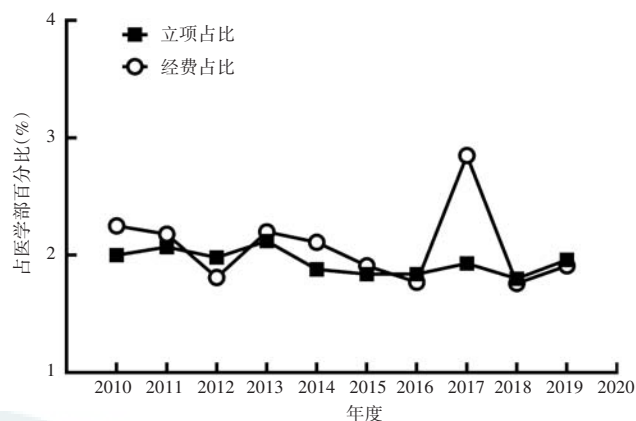


图 3 2010—2019 年眼科学立项数量和经费占医学部的比例
NSFC: 国家自然科学基金

Figure 3 Percentage of the number and fundings of NSFC projects of ophthalmology in medical science from 2010 to 2019 NSFC: National Natural Science Foundation of China

眼表疾病和 H1204 青光眼、视神经及视路相关疾病, H1202 晶状体与白内障、H1208 眼遗传性疾病和 H1206 视觉、视光学与近视、弱视及眼肌病。H1203 巩膜、葡萄膜、眼免疫, H1207 全身疾病眼部表现、眼眶病, H1209 眼组织移植, H1210 眼科疾病诊疗新技术和 H1211 眼科疾病其他科学问题获得立项数量较少,但 H1203 葡萄膜研究领域杨培增教授分别在 2011 年和 2019 年获得 2 项重点项目立项,总经费 577 万, H1207 领域范先群教授分别在 2013 和 2019 年获得 1 项国际(地区)合作项目和重点项目(图 4A)。

从各类疾病研究获得资助经费来看,经费与研究领域立项数量密切相关,立项最多的视网膜、脉络膜及玻璃体相关疾病资助经费最多,将近 2 亿元;青光眼相关研究立项数量低于角膜,但经费与角膜相关研究持平;眼遗传性疾病的资助经费增加较快,表明近年来遗传性眼病相关研究增多,这与国际上致病基因检测及细胞和基因治疗遗传性眼病的研究增加趋势一致^[1-4];其他各类疾病的资助经费与立项数量每年基本持平。H12 代码立项包括优青项目、杰青项目、重点项目、重大项目和国际合作研究项目,仅有 1 项优青项目获得立项,经费 100 万,其他代码立项经费在 200 万以上,经费总额较多,其中范先群教授 2013 和 2019 年分别获得 1 项国际(地区)合作项目和重点项目,经费为 577 万(图 4B)。

表 1 医学部和眼科学 NSFC 不同资助项目类别数量变化(n)
Table 1 The number of NSFC funded projects in medical science and ophthalmology(n)

年度	面上项目		青年项目		重点、重大、国际项目		优青、杰青项目	
	医学部	眼科学	医学部	眼科学	医学部	眼科学	医学部	眼科学
2010	3 163	63	1 703	40	66	3	25	1
2011	3 663	77	2 901	67	88	5	25	1
2012	4 200	84	3 007	72	90	3	25	1
2013	4 072	87	3 316	81	90	6	25	0
2014	3 800	75	3 502	73	102	5	25	2
2015	4 102	81	3 680	75	102	3	77	3
2016	4 102	85	3 720	76	107	1	77	1
2017	4 455	88	4 200	91	112	9	74	0
2018	4 515	88	4 222	85	120	3	74	1
2019	4 584	95	4 325	99	125	3	113	1

注:未检索到医学部国际(地区)合作研究项目,故医学部只统计了重点项目和重大项目
NSFC: 国家自然科学基金

Note: Key projects and major projects of medical science and ophthalmology funded by NSFC were counted, and International Cooperation and Exchange projects were not available NSFC: National Natural Science Foundation of China

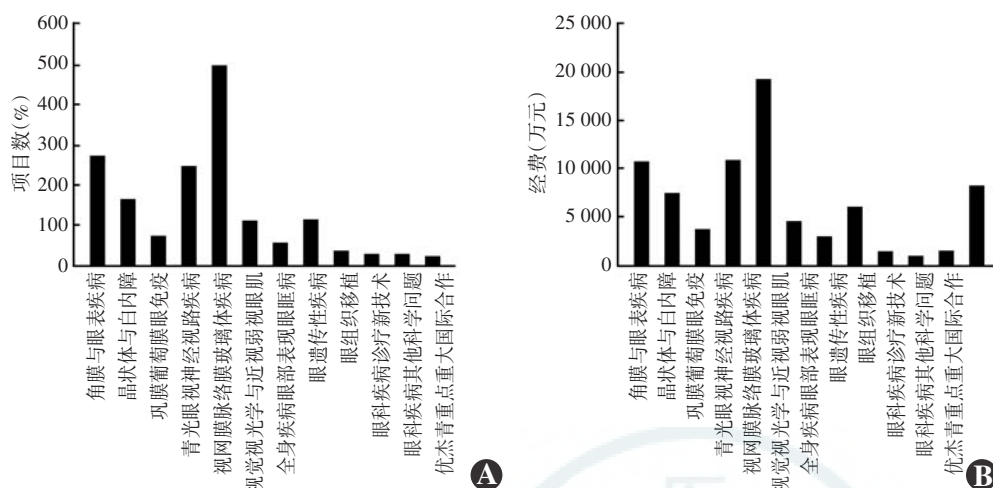


图 4 2010—2019 年眼科学资助类别数量和经费情况 A: 资助项目数量 B: 资助项目经费
Figure 4 The number and funding of projects in ophthalmology from 2010 to 2019 A: The number of funding projects in ophthalmology B: The fundings of projects in ophthalmology

100 个, 前 10 名机构立项 924 项, 占眼科领域立项的 57%。中山大学立项数量排名第一, 超出第二名上海交通大学 79 项, 经费超上海交通大学 6 096 万。上海交通大学和复旦大学获得项目均超百项, 温州医科大学、中南大学和天津医科大学均超过 60 项。中南大学立项数量超过天津医科大学, 但是经费总数少于天津医科大学, 浙江大学与首都医科大学也存在类似情况(表 3)。

2.4 高层次人才类项目立项情况

2010—2019 年眼科学领域获得 NSFC 高层次人才项目 13 项, 其中国家优青项目 7 项、杰青项目 5 项。2017 年中山大学刘奕志获得创新研究群体项目 1 项, 南京医科大学赵晨和中国科学技术大学薛天均获得优青项目和杰青项目。电子科技大学杨正林获得 NSFC 立项 6 项, 在人才类项目排序第一, 总经费 957 万。2010—2019 年其他优青杰青获得 NSFC 立项均在 2 项以上, 总经费在 200 万以上。这 11 位高层次人才类项目负责人 10 年间共获得 NSFC 项目 46 项, 总经费 7 195 万元(表 2)。

2.5 眼科获得 NSFC 资助的依托单位

2010—2019 年眼科学获 NSFC 资助的依托单位共

表 3 10 年间眼科学获 NSFC 排名前 10 的依托单位
Table 3 The top 10 ophthalmology institutions funded by NSFC

序号	依托单位	项目数(n)	经费数(万元)
1	中山大学	223	12 898
2	上海交通大学	144	6 802
3	复旦大学	139	7 959
4	温州医科大学	85	3 539
5	中南大学	70	2 681
6	天津医科大学	65	2 848
7	浙江大学	57	2 537
8	首都医科大学	54	2 680
9	重庆医科大学	44	2 759
10	中国人民解放军第三军医大学	43	1 777

注: NSFC: 国家自然科学基金
Note: NSFC: National Natural Science Foundation of China

表 2 眼科学 NSFC 优青杰青创新群体获得情况(n)

Table 2 Projects funded by NSFC for excellent scholars, distinguished scholars and creative research groups (n)

序号	姓名	优青项目	杰青项目	创新群体项目	面上项目	重点项目	重大项目	国际合作项目	青年项目	应急管理项目	总计	经费总额(万元)
1	杨正林	/	1	/	1	1	1	/	/	2	6	957
2	薛天	1	1	/	1	/	2	/	/	/	5	955
3	赵晨	1	1	/	2	1	1	/	/	/	5	882
4	周翔天	1	/	/	4	/	/	/	/	/	5	377
5	林浩添	1	/	/	1	/	2	/	1	/	5	262
6	刘奕志	/	/	1	1	1	/	1	/	/	4	1 674
7	孙晓东	/	1	/	2	1	/	/	/	/	4	826
8	侯胜平	1	/	/	3	/	/	/	/	/	4	293
9	金子兵	1	/	/	3	/	/	/	/	/	4	279
10	何明光	/	1	/	/	/	/	1	/	/	2	500
11	欧阳宏	1	/	/	1	/	/	/	/	/	2	190

注: NSFC: 国家自然科学基金 /: 未获得立项
Note: NSFC: National Natural Science Foundation of China /: Not applicable

2.6 眼科获 NSFC 资助的地域分布情况

2010—2019 年全国有 23 个省和直辖市的眼科医疗机构获得 NSFC 资助, 上海市、广东省、浙江省、北京市眼科学 NSFC 立项均为 100 项以上, 重庆市、山东省、湖南省均超过 70 项, 天津市、四川省、湖北省、江苏省为 60 项以上, 江西省、河北省、山西省、云南省和贵州省的立项是个位数, 海南、甘肃、青海、新疆、宁夏、广西、内蒙古、西藏等省份或自治区尚未有立项(不包括地方联合基金)(表 4)。

表 4 2010—2019 年眼科学 NSFC 项目地区分布
Table 4 Regional distribution of NSFC funded projects in ophthalmology during 2010—2019

序号	地区	项目数(n)	序号	地区	项目数(n)
1	上海市	336	13	福建省	50
2	广东省	285	14	河南省	33
3	浙江省	151	15	黑龙江省	31
4	北京市	137	16	辽宁省	30
5	重庆市	87	17	吉林省	21
6	山东省	74	18	安徽省	11
7	湖南省	71	19	江西省	4
8	天津市	66	20	河北省	3
9	四川省	63	21	山西省	3
10	湖北省	62	22	云南省	2
11	江苏省	61	23	贵州省	1
12	陕西省	53			

注: NSFC: 国家自然科学基金

Note: NSFC: National Natural Science Foundation of China

3 讨论

3.1 从近 10 年 NSFC 立项看眼科学基础研究热点的变迁

眼科学基础研究的热点不断发生变化, 这些变化与生物医学基础研究的快速发展密切相关。本研究从近 10 年关键词聚类可视化分析来看, 与 2010—2014 年相比较, 2015—2019 年视网膜、细胞、基因、角膜、糖尿病视网膜病变、晶状体、白内障、近视、视网膜节细胞等相关内容的研究方向有较小的变化, 但 2015—2019 年眼科干细胞、损伤、变性、信号通路、免疫等领域的研究数量增加较多。蛋白及蛋白组研究是新的、增长较快的研究方向, 表明眼科基础研究进入更深层次的分子水平。黄斑变性、上皮细胞、小胶质细胞、线粒体、自噬、修复、再生等领域也是近 5 年快速发展的研究方向, 这些研究均为近年来生物医学研究的热点, 但青光眼、视神经、角膜移植、突变、视网膜色素变性、微环境等相关研究逐渐减少。本研究结果提示, 眼科研究人员应该关注和跟踪生物医学研究领域的最新进步, 有效利用最新方法和技术进行选题, 提高 NSFC 立项成功率。

3.2 从近 10 年 NSFC 立项看新技术、多学科与眼科学的融合发展

随着近 5 年来人工智能、基因编辑技术、计算机辅助技术、生物信息学、光介导超声技术、OCT 技术、组织修复和再生医学的快速发展, 眼科学研究呈现出医学、理科、工科等跨学科融合趋势, 这些应用研究的进

步促进了产学研紧密结合研究方向。近几年来出现了眼科手术机器人治疗视网膜静脉阻塞、光介导超声手术抗视网膜新生血管、人工智能技术黄斑水肿诊疗中的应用、糖尿病视网膜病变人工智能辅助诊断系统等。此外, CRISPR/Cas9 技术的发展实现了同时对多个基因进行特异和有效编辑的可能, 为一些遗传性眼病的治疗带来了希望^[5]。各种组学研究技术、类器官培养、非编码 RNA 等, 以及多学科与眼科学的跨学科交叉融合使我国眼科基础研究在眼科疾病的发病机制研究和治疗措施研发方面进行了更深层面的探索, 多学科与眼科学的交叉融合以及前沿技术在眼科诊疗中的应用研究成为 NSFC 关注的方向。

3.3 NSFC 加速了眼科学基础研究人才的培养

近 10 年来对 NSFC 国家优青、杰青、创新群体人才类项目立项情况表明, 高层次人才获得 NSFC 支持的项目均在 2 项以上, 大部分研究者成功申请 4~6 项, 项目经费 500 万以上者有 6 人。这些高层次人才项目获得者多年围绕稳定的基础研究或应用基础研究方向潜心钻研, 并密切跟踪生物医学交叉学科的发展动向, 将最新的基础研究技术与个人的研究方向和课题紧密结合。这些带头人及团队研究方向清晰, 研究背景比较深厚, 在国内外眼科学领域具有较高的学术影响力。NSFC 的资助在推动我国眼科基础研究不断进步的同时也培养出一批进入世界科技前沿的优秀科学家。本研究还提示, 个人稳定的研究方向、敏锐的学术洞察力和丰厚的研究背景也是 NSFC 成功立项的基础。

3.4 研究力量的地区高度集中趋势

眼科学获得 NSFC 资助的依托单位分布反映了研究力量的地区不均衡性。获得 NSFC 资助课题较多的单位高度集中在沿海、直辖市等经济发达地区, 同时地区间、科研机构间受资助项目数量悬殊较大^[6]。立项排名前十的机构立项数量占总量的 57%, 一些重点、重大高层次项目高度集中在广东省、上海市、浙江省、重庆市、四川省、安徽省、北京市和江苏省, 科研经费集中在一些规模和影响力大、研究能力强、人才聚集的医疗科研机构^[7]。本研究结果显示研究力量强的单位获得项目立项多, NSFC 立项的地域分布呈现出东强西弱的状态, 与我国经济发展状况的地区分布基本一致, 也与不同地域机构科研底蕴和长期积累有关。

3.5 眼科学资助率呈下降趋势

眼科立项数量保持平稳增加, 整体占医学部的比例约为 2%, 但立项资助率呈逐年下降的趋势, 尤其面上项目中标率低于青年基金项目。这种现象一方面说明 NSFC 的申请竞争愈来愈激烈, 另一方面也说明眼

科学领域 NSFC 倾向资助青年基金项目。2020 年国家自然科学基金委制定了申报政策,限制申请人最多申报 2 个项目,这一政策是否会改变眼科领域的资助率值得关注。本研究结果显示,在各类眼科疾病的研究中,视网膜、脉络膜及玻璃体相关疾病的研究 NSFC 立项项目最多,这与实际工作中眼底病是主要的眼科疾病并且诊疗技术更为复杂相符。角膜与眼表疾病、青光眼、视神经及视路相关疾病、晶状体与白内障、眼遗传性疾病和视觉、视光学与近视、弱视及眼肌病等方面的研究相对较多,其他各类疾病的研究相对较少,这种情况大体与各类眼病的发生率和当前是否存在重要科学问题有关。此外,虽然一些眼科亚专业立项数量较少,但因为有全国知名的学科带头人获得的大项目立项较多,形成了特色专科。

10 年来,随着新技术的融入和多学科交叉,眼科学基础研究的热点出现了一些变化。NSFC 鼓励自由探索,同时也要考虑侧重对眼科常见病、多发病的研究。基础研究的开展有助于阐明我国常见眼病的发病机制,提高眼病的预防和诊疗水平,其最终目的是解决临床存在的科学难题。因此,应更注重研究创新和成果转化,如加速人工假体和人工智能等技术的基础研究和转化^[8-10]。美国 FDA 已经批准了首个治疗遗传性视网膜病变的基因治疗产品^[11],我国应注重选择优势项目作为突破口。应鼓励支持眼科转化性研究^[12],促进发展学科交叉和医、理、工的结合,鼓励产学研管的有机结合,加快眼科新型科技产品的产业化。

我国研究机构的科研能力和地域分布不均,总体呈东强西弱态势。为促进经济和科研欠发达省份的发展,NSFC 委员会设置地区基金、联合基金加大对中西部地区的支持力度,对这些地区的科研起到了十分重要的推动作用。我国中西部地区更需要培育优秀的中青年骨干学术带头人。对于依托单位,要增加眼科学领域研究经费的投入,做好学科布局和规划。需要根据单位传统优势和发展特色,凝练研究方向,围绕重点发展方向集中科研资源进行攻关。眼科基础研究人员要根据自身能力和兴趣形成长期稳定系统的研究方向。有研究创新和突破,才能为促进我国眼科学发展和繁荣做出贡献。另外建议 NSFC 规范申报项目的关键词,申请者可以在申报系统中根据研究内容选择关键词,减少自由赋词的随意性,提高规范性。

利益冲突 所有作者均声明不存在任何利益冲突

参考文献

[1] Santiago-Fernández O, Osorio FG, Quesada V, et al. Development of a

CRISPR/Cas9-based therapy for Hutchinson-Gilford progeria syndrome [J]. *Nat Med*, 2019, 25 (3): 423-426. DOI: 10. 1038/s41591-018-0338-6.

[2] Cong L, Ran FA, Cox D, et al. Multiplex genome engineering using CRISPR/Cas systems [J]. *Science*, 2013, 339 (6121): 819-823. DOI: 10. 1126/science. 1231143.

[3] MacLaren RE, Groppe M, Barnard AR, et al. Retinal gene therapy in patients with choroideremia: initial findings from a phase 1/2 clinical trial [J]. *Lancet*, 2014, 383 (9923): 1129-1137. DOI: 10. 1016/S0140-6736(13)62117-0.

[4] Bainbridge JW, Mehat MS, Sundaram V, et al. Long-term effect of gene therapy on Leber's congenital amaurosis [J]. *N Engl J Med*, 2015, 372 (20): 1887-1897. DOI: 10. 1056/NEJMoa1414221.

[5] 吴世靖, 睢瑞芳. CRISPR/Cas9 技术在遗传性眼病基因治疗中的应用 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2018, 36 (11): 892-896. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2018. 11. 016.

Wu SJ, Sui RF. Applications of CRISPR/Cas9 genome editing technology in gene therapy for hereditary eye diseases [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2018, 36 (11): 892-896. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2018. 11. 016.

[6] 杨培增, 漆剑. 提升中国眼科学基础研究的质量和水平 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2011, 29 (8): 673-675. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2011. 08. 001.

Yang PZ, Qi J. The quality of basic research in ophthalmology needs to be improved in China [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2011, 29 (8): 673-675. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2011. 08. 001.

[7] 杜红俊, 张康, 惠延年. 创新和应用是眼科临床基础研究的生命线 [J]. *中华眼科杂志*, 2012, 48 (7): 583-586. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2012. 07. 004.

Du HJ, Zhang K, Hui YN. Innovation and application are vital for translational research in ophthalmology [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2012, 48 (7): 583-586. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2012. 07. 004.

[8] 刘祖国, 刘靖. 大力开展中国眼组织工程的研究和转化 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2016, 34 (9): 769-772. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2016. 09. 001.

Liu ZG, Liu J. To promote the development and translation of eye tissue engineering study in China [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2016, 34 (9): 769-772. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2016. 09. 001.

[9] 赵家良. 关注人工智能时代的眼科学发展 [J]. *中华眼科杂志*, 2018, 54 (9): 645-648. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2018. 09. 002.

Zhao JL. The development of ophthalmology in artificial intelligence era [J]. *Chin J Ophthalmol*, 2018, 54 (9): 645-648. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0412-4081. 2018. 09. 002.

[10] 明帅, 雷博. 基于深度学习人工智能辅助诊断糖尿病视网膜病变研究现状及展望 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2019, 37 (8): 684-688. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2019. 08. 019.

Ming S, Lei B. Research status and prospect of deep learning algorithm-based artificial intelligence in assisted diagnosis of diabetic retinopathy [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2019, 37 (8): 684-688. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-0160. 2019. 08. 019.

[11] Dunbar CE, High KA, Joung JK, et al. Gene therapy comes of age [J]. *Science*, 2018, 359 (6372): eaan4672 [2020-05-23]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29326244/>. DOI: 10. 1126/science. aan4672.

[12] 范先群, 徐晓芳. 眼科转化医学研究的现状和展望 [J]. *上海交通大学学报*, 2011, 31 (8): 1057-1060. DOI: 10. 3969. j. issn. 1674-8115. 2011. 08. 001.

Fan XQ, Xu XF. Current situation and prospects of translational medicine in ophthalmology [J]. *J Shanghai Jiaotong Univer (Med Sci)*, 2011, 31 (8): 1057-1060. DOI: 10. 3969. j. issn. 1674-8115. 2011. 08. 001.

(收稿日期: 2020-06-10 修回日期: 2020-08-20)

(本文编辑: 尹卫靖)