doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2022.03.05
View this article at: https://dx.doi.org/10.3978/j.issn.1000-4432.2022.03.05

眼科人工智能在远程医疗中的应用

杨玉微[1] 综述 云东源[2]，李龙辉[2]，陈晴晶[2] 审校

(1.中山大学医学院，广东 深圳 518107；2. 中山大学中山眼科中心，眼科学国家重点实验室，广东省眼科视觉科学重点实验室，广州 510060)

[摘 要] 当下，我国眼科的发展存在失衡现象，大城市与农村及偏远地区在眼科相关诊疗设施水平、诊疗技术等方面存在巨大差异，仍需探寻新的智能诊疗模式以解决失衡问题。由于眼球是唯一可以直接观察人体血管和神经的器官，眼部可反映其他脏器的健康状态，部分眼科检查的医学图像可对眼部疾病做出诊断等特点，眼科开展人工智能(artificial intelligence，AI)具有独到的优势。此外，人工智能可在一定程度上提高跨时间空间传递信息的精准度及效率。人工智能在眼科及远程信息传递的优势为解决眼科发展失衡状况提供了助力。本文从眼科人工智能在眼科远程医疗相关应用的角度，主要分析并总结当下我国人工智能在眼科相关疾病远程医疗中的发展程度、所具优势以及存在问题，并讨论眼科人工智能在远程医疗的应用展望。

[关键词] 人工智能；眼科医疗；远程医疗；糖尿病性视网膜病变；早产儿视网膜病变；优势；挑战

Application of ophthalmic artificial intelligence in telemedicine

YANG Yuwei[1], YUN Dongyuan[2], LI Longhui[2], CHEN Jingjing[2]

(1. Sun Yat-sen University School of Medicine, Shenzhen Guangdong 518107; 2. State Key Laboratory of Ophthalmology, Zhongshan Ophthalmic Center, Sun Yat-sen University, Guangdong Provincial Key Laboratory of Ophthalmology and Visual Science, Guangzhou 510060, China)

Abstract At present, there is an imbalance in the development of ophthalmology in China. There are huge differences in the level of ophthalmology related facilities, diagnosis and treatment technologies between big cities and rural, remote areas. New intelligent diagnosis and treatment models are still needed to solve the imbalance. Since the eye is the only organ that can directly observe the blood vessels and nerves of the human body, the eye can reflect the health status of other organs and diagnosis of eye diseases based on medical images of some ophthalmic examinations can be made as well as other characteristics. Therefore, the development of artificial intelligence in ophthalmology has unique advantages. In addition, artificial intelligence can improve the accuracy and efficiency of information transmission across time and space to a certain extent. The advantages of artificial intelligence in ophthalmology

收稿日期 (Date of reception)：2021–07–16

通信作者 (Corresponding author)：陈晴晶，Email: 34728424@qq.com

基金项目 (Foundation item)：本科教学质量工程项目 [教务 (2021)93 号]。This work was supported by Undergraduate Teaching Quality Engineering Project, China [(2021) No. 93].

and telematics are helping to solve the imbalance in ophthalmology development. From the perspective of the application of ophthalmic artificial intelligence in telemedicine, this paper mainly analyzes and summarizes the development degree, advantages and existing problems of artificial intelligence in the telemedicine of ophthalmic diseases in China, and discusses the prospect of the application of ophthalmic artificial intelligence in telemedicine.

Keywords artificial intelligence; ophthalmic care; telemedicine; diabetic retinopathy; retinopathy of prematurity; advantage; challenges

目前，我国医疗发展存在失衡问题，医疗资源分配偏倚，大城市拥有更多更优质医疗资源，而偏远地区及农村则出现一定程度的医疗资源短缺。这一情况在眼科领域尤为严重。以近视防控为例，据中华医学会眼科分会统计，到2014年底，我国眼科医师约3.6万名，视光师不足4 000人，而且全国70%的眼科医生集中在大中型城市，基层眼科医生数量很少，远不能满足患者需求[1]。因此，寻求解决之法尤为重要。医学人工智能的引入，被认为是解决这一问题的好方式。目前人工智能在眼科领域的运用多在影像学检查方面，比如眼底视网膜图像、光学相干断层扫描(optical coherence tomography，OCT)、裂隙灯检查等。眼部图像检查的优势是图像精细、信息量大，依据医学图像可对的大部分眼科疾病做出诊断，比如年龄相关性黄斑变性[2]、糖尿病性视网膜病变(diabetic retinopathy，DR)[3]、早产儿视网膜病变(retinopathy of prematurity，ROP)、白内障、青光眼[4]等。由于眼球是人体上唯一可以直接观察血管和神经的器官，眼部图像还可以提供很多血管和神经方面的信息以辅助其他疾病的诊断，如糖尿病、高血压、阿尔茨海默病等。随着人工智能的推进，这些眼部图像检查还可以逐渐运用于眼科的各个场景，眼科远程医疗也囊括其中。人工智能在眼科领域的发展优势使得其在解决我国眼科发展失衡问题方面提供了有效方法，并在眼科远程医疗的防筛诊治中予以应用。与此同时，随着人工智能在眼科远程医疗多个场景中得到使用，在其优势得到不断放大的同时也暴露出许多潜在问题与挑战，这仍需要研究者不断探索予以解决。

1 人工智能在两种远程医疗研究常见眼病中的应用进展

1.1 人工智能在DR远程医疗筛查诊疗中的进展

DR为糖尿病并发症之一，血糖水平升高可损害患者视网膜微血管，导致视力下降或失明，危害患者的身心安全[5]。中国糖尿病患者DR患病率为24.7%~37.5%[6]。早期筛查、诊断和及时治疗可避免98%的DR[7]。由于DR的患病率高、后果严重以及仅依据单一模式影像(眼底彩色照相)即可确诊等特点，其因此成为眼科最早开展AI研究的疾病，也是研究最多最成熟的疾病[8]。鉴于此，AI在DR远程医疗的应用也相对其他眼科疾病更深入。目前，在早期筛查方面，眼底照相技术能够在较短时间内获取不同视野范围的眼底及周边视网膜彩色图像，实现100°甚至120°超广角成像，简单易行。通过眼底照相技术获取眼底图像，借助互联网数字传输视网膜图像，并进行DR诊断及分级[9]。这一方式可为DR的远程诊断提供更清晰准确的意见，提升医生效率。在远程诊疗方面，视网膜激光导向治疗(navigated retinal laser therapy)[10]可运用图像叠加、运动稳定激光传输与图像跟踪，以治疗后极和周围视网膜病变。通过将相关检查结果(眼底照片、眼底荧光血管造影或光学相干断层扫描厚度图)叠加到患者视网膜的实时活体图像上，从而运用到视网膜疾病的治疗中[11]。Kozak等[12]经研究得出：视网膜激光导向治疗在远程治疗中已具有安全性和可行性。通过其辅助诊疗，可以在远距离情况下提高医生治疗效果。此外，我国相关的远程筛查诊疗系统通过建立网络系统或平台与人工智能相结合的方式推动DR远程医疗的进步。广州中山眼科中心联合澳大利亚相关机构在两个城市(St Vincent's Hospital，Melbourne & University Hospital Geelong，Barwon Health)内分泌科开展基于人工智能的糖网远程筛查系统，经测试该系统正确转诊的敏感性和特异性分别为92.3%和93.7%。同时，对患者进行AI远程医疗态度调查问卷显示，96%的受访者表示他们对AI远程医疗感到满意或非常满意[13]；北京协和医院使用基于5G的远程会诊平台结合实时自动视网膜激

光设备对相隔1 200 km的中国浙江省湖州市第一人民医院招募的DR患者进行远程眼科治疗，结果显示所有治疗计划均顺利完成，光凝期间未发生不良事件。平均(SD)网络延迟时间为20(3) ms，没有观察到明显的信号损失，也没有任何图像缓冲或像素化的迹象。实现了相隔两地的眼科医生在无需任何可感知的时间延迟情况下，通力合作为DR患者提供较为精准的治疗及护理，提高了治疗的精准性和实时性，进而提高了患者的依从性[14]。上述系统或平台各有特点，但都具有较好的筛查或治疗效果，可以实现在DR远程筛查诊疗中提供较准确的诊断意见或为DR患者提供实时远程治疗。

1.2 人工智能在 ROP 远程医疗筛查诊疗中的进展

ROP是早产儿和低体重儿发生的一种视网膜血管增生性病变，是目前导致婴幼儿视功能受损或盲的主要原因之一[15]。在全球范围内，估计有1 900万儿童患有视力障碍。其中，ROP占儿童失明的6%~18%，对儿童和家庭造成重大的社会心理影响[16]。ROP病情发展较快，如果能及时诊断治疗，则可较快恢复，一旦错过最佳治疗时间，将会产生不可逆性损伤。ROP是目前小儿眼科中最受关注的AI研究和应用领域[17]，这使得AI在ROP远程医疗中的研究相对其他小儿眼科疾病更为广泛。在ROP筛查方面，Brown等[18]通过收集数据、图像分级、算法开发等步骤构建基于深度学习的算法用以进行ROP诊断，并与ROP专家进行临床诊断对比，发现其所建立的算法诊断疾病熟练度可与专家媲美。由此提出将基于深度学习的筛查用于ROP远程医疗可能会提高卫生保健提供的客观性、准确性和效率。这表明在ROP远程诊断方面，人工智能的运用已可以与医生现场诊断呈现同样效果，这既提高了医生诊断效率，也给患者带来更多便利。随着广角成像设备在眼科远程医疗中运用，Jackson等[19]从ROP治疗成本的角度对经验丰富的眼科医生进行传统眼科检查与非眼科人员使用广角成像设备进行远程医疗检查，并由远程眼科医生进行解释两种诊疗方式进行对比，得出对于ROP的系统治疗，远程医疗比传统眼科检查更具成本效益。这说明在ROP的诊疗中，与传统模式相比运用人工智能进行远程医疗可给患者带来更多利益。此外，在ROP的远程筛查诊疗中，相关人工智能系统正投入运用。陈亦棋等[20]采用第三代儿童广角数码视网膜成像系统(RetCam III)及便携式广域眼底成像系统(PanoCam)进行的一项ROP现场和远程筛查得出：远程诊断治疗性ROP的灵敏性、特异性、阳性预测值、阴性预测值分别为100.0%、98.59%、95.45%、100.0%。Wang等[21]通过分析斯坦福大学运用RetCam II/III对ROP进行6年的远程医疗计划结果得出，对筛查治疗性ROP的灵敏性、特异性、阳性预测值、阴性预测值分别为100.0%、99.8%、95.5%、100.0%。两项研究说明：运用相关人工智能系统进行远程医疗具有较高的敏感性和特异性，且通过这些系统可以提供较准确的诊断结论，这使得患者身处异地也可接受先进的医疗诊断，为患者带来较多便利。

2 眼科人工智能在远程医疗中的优势

随着医疗科学技术的进步，眼科人工智能得到长足发展，其在远程医疗中的应用逐渐被发现并得以重视。人工智能的引入为远程医疗提供了发展的新方向，具有诸多优势。

1)减轻医生负担，提高工作效率。未引入人工智能进行远程医疗时，医生需人工对大量患者病情进行分析，而引入人工智能后，这一情况得到改善。例如，在DR的远程筛查上，现如今可利用计算机图像自动识别与分析技术解决。如英国的iGradingM和ARIASs[22]，美国的EyeArt[23]等，可显著降低筛查工作的人力成本，减轻眼科医师的负担，减少检查者间的差异，扩大了筛查人群范围[24]。此外，Wu等[25]的一项关于AI平台在白内障的三级转诊中应用的研究显示：与传统模式相比，若运用转诊模式使30%患者转诊后，眼科医生的服务人数将提高10.2倍。因此，人工智能与眼科远程医疗结合的方式可有效提高眼科医生的工作效率。

2)提高患者忠诚度及随诊率。人工智能的引入使得患者诊疗数据得到系统的监控。Long等[26]的一项关于先天性白内障的研究，利用个性化预测和远程医疗计算的优势，创建AI代理的模式，同时引入一个预测-远程医疗云平台，用于白内障

患者的长期治疗。这样的方式给患者提供了个性化的服务，及时预测、推断患者情况，制订个体化的随访时间表，并可实现患者的远程就诊。这与传统的患者适应医院随访安排并到院就诊的模式相比，缩短了距离，减少了就诊时间、成本，并使患者随访更具个性化，进而增加患者的依从性。

3)减少医疗成本。对于患者而言，人工智能在眼科远程医疗中的系统应用在很大程度上减少了看病的成本。张莉等[27]对外地患者在当地医院就诊，并与首都医科大学附属北京同仁医院远程眼科会诊中心进行会诊的费用成本，与外地患者到首都医科大学附属北京同仁医院实地就诊平均费用支出进行比较，发现每例患者使用远程会诊平台的平均支出仅为150元，而通过北京同仁医院门诊的平均支出则需4 450元。显然，通过远程会诊平台进行会诊可大幅度节省患者的医疗成本，从而减少患者家庭及社会医疗经济负担。此外，在考虑AI仪器研发、软件开发等一系列人工智能远程医疗开展中所需成本之后，远程医疗在提高社会医疗资源效率、减少资源浪费等方面具有良好的效益，间接减少了医疗成本[28]。

3 眼科人工智能的远程医疗仍然面临许多挑战

人工智能远程医疗在一定程度上解决眼科医疗发展不均问题的同时，其存在的不足也显现出来。

1)数据误差影响诊断。数据误差即人工智能积累的数据样本信息因不同医生的诊断标准不同出现的差异性，这最终可能会影响人工智能诊断的精准性。在医学领域，数据质量的完整性及准确性涉及到伦理保护的问题。甚至不同医生对同一种疾病的描述都不尽相同[29]。因此，将人工智能引入远程医疗时，要进一步规范疾病诊断标准，以降低数据误差出现的机率。目前已有相关研究针对数据标准构建问题提出了指导性内容。例如：翟运开等[30]从层次维、时间维和种类维三个角度进行分析研究，构建了一个精准医疗数据融合标准体系，为标准制定人员提供了理论基础，为规范精准医疗多源异构数据的融合提供理论指导和实践参考。

2)医生与人工智能远程医疗的融合问题。人工智能运用于远程医疗后，对医生提出了更高的要求：学习使用远程诊疗系统、保障通过人工智能进行远程操作的手术和现场操作具有相同的效果等。这使得医生需要不断接受更多的新兴技术知识。此外，远程医疗更多的是隔着距离和时间的交流诊疗，会否在人工智能的辅助以及没有面对面压力的情况下，医生会放松对每个患者的检查而更多依赖AI给出的结果？这就需要对医生有更高的要求，比如在基础学习阶段引入人工智能治疗相关专业课程，在培训阶段规范医生行为，严格要求医生，确保人工智能的引入不影响医生诊断的投入度。

3)隐私安全问题。远程医疗数据的潜在价值加大了商业机构盗取患者隐私的风险[31]。目前，针对这一问题可以从立法、信息技术提升等方向不断完善，予以解决。例如范颖丹[32]从相关法律建设、网络安全与隐私安全保障技术的提升、互联网企业自律、公民信息安全意识强化四个角度针对大数据时代的信息安全提出了相应对策；赵蓉等[33]着眼于三级医院医疗大数据应用中的个人信息隐私保护，提出了一系列基于现有信息技术的医疗个人信息隐私保护体系和加强相关行业规范和法律规制研究的政策建议。医疗信息的保护是一个漫长的过程，需要源源不断的研究去完善，以实现远程医疗过程中患者隐私信息的保护。

4)AI技术风险及伦理问题。AI技术虽然已经处于发展迅速的阶段，但其仍然存在诸多不确定性，如程序出错导致诊断结果出错、发出的指令与AI实际操作出现不符、因数据本身或算法开发者和设计者的问题出现的算法歧视等。在AI的算法歧视问题上，已有相关研究从技术规则构建等方面进行探讨。曹建峰[34]提出可以构建技术公平规则，通过设计保障公平的实现。以此促进算法歧视的解决。针对AI操作可能出现的误差问题，除了在AI技术测试上不断深入，还要在运用AI诊断时，慎重权衡风险利弊，做出使患者利益最大化的决策，并确保患者知情同意。同时，AI技术潜在的风险使得一系列伦理问题产生，如医疗事故责任由谁承担、医疗纠纷由谁解决等。对此，Murdoch等[35]提出需在远程医疗项目开始前就针对可能出现的问题制订明确的指导方针。相关伦

理问题，还需要多学科联合予以解决。

4 结语

综上所述，人工智能结合远程医疗的模式在眼科领域已得到一定的发展，相关研究成果正在积极测试或已运用于实际诊疗中。目前，我国眼科人工智能远程医疗相关研究仍主要集中在几种常见眼科疾病，如DR和ROP等。研究内容主要集中在数据收集和系统研发方面。远程医疗人工智能辅助诊断和筛查系统一方面可以在一定程度上改善医疗条件落后地区的眼科医疗水平，另一方面人工智能与远程医疗检查设备甚至智能手机技术的结合可以大幅减轻地域差异化，实现分级诊疗，增强医疗安全性。以上两方面均为我国眼科远程医疗方面研究的开展提供很好借鉴[36]。未来，我们仍需要花大力气进行数据的收集、整理和标注，并不断开发新的人工智能所需的算法，以优化其学习效率[37]。除此之外，眼科发展不均衡的问题使得医疗技术不发达的地区对眼科罕见疾病的诊疗更具难度。因此，我们在对眼科几种常见疾病的远程医疗相关内容继续深入研究的同时，也要更多的关注一些罕见眼科疾病的远程医疗。可以通过各地区通力合作，以实现罕见眼科疾病数据的收集，不断深入探究，研发针对罕见眼科疾病的相关远程诊疗系统，进一步拓宽眼科远程诊疗的范围。此外，在分析眼科人工智能在眼科远程医疗运用的同时，我们还需意识到眼科人工智能的引入及远程医疗的运用虽能一定程度上为眼科医疗发展不均衡提供解决的可能性，但并不能解决所有问题。因此，解决我国眼科医疗发展不均衡的问题还需要多学科多领域结合、多方面多角度以解决不断涌出的新问题。

开放获取声明

本文适用于知识共享许可协议(Creative Commons)，允许第三方用户按照署名(BY)-非商业性使用(NC)-禁止演绎(ND)(CC BY-NC-ND)的方式共享，即允许第三方对本刊发表的文章进行复制、发行、展览、表演、放映、广播或通过信息网络向公众传播，但在这些过程中必须保留作者署名、仅限于非商业性目的、不得进行演绎创作。详情请访问：https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/。

参考文献

1. 刘思思. AI+医疗试水“近视预测”，未来10年近视度数有规可循[J]. 大数据时代, 2019(2): 54-59.
LIU Sisi. AI+ medical test "myopia prediction", myopia degree can be followed in the next 10 years[J]. Big Data Age, 2019(2): 54-59.
2. Govindaiah A, Smith RT, Bhuiyan A. A new and improved method for automated screening of age-related macular degeneration using ensemble deep neural networks[C]. Proceedings of the Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. Conference, 2018: 702-705.
3. Ting DSW, Cheung CY, Lim G, et al. Development and validation of a deep learning system for diabetic retinopathy and related eye diseases using retinal images from multiethnic populations with diabetes[J]. JAMA, 2017, 318(22): 2211-2223.
4. Brown JM, Campbell JP, Beers A, et al. Automated diagnosis of plus disease in retinopathy of prematurity using deep convolutional neural networks[J]. JAMA Ophthalmol, 2018, 136(7): 803-810.
5. Liew G, Michaelides M, Bunce C. A comparison of the causes of blindness certifications in England and Wales in working age adults (16-64 years), 1999-2000 with 2009-2010[J]. BMJ Open, 2014, 4(2): e004015.
6. 中华医学会眼科学会眼底病学组. 我国糖尿病视网膜病变临床诊疗指南(2014年)[J]. 中华眼科杂志, 2014, 50(11): 851-865.
Ophthalmology Society of Chinese Medical Association. Clinical guidelines for diagnosis and treatment of diabetic retinopathy in China (2014)[J]. Chinese Journal of Ophthalmology, 2014, 50(11): 851-865.
7. Gulshan V, Peng L, Coram M, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs[J]. JAMA, 2016, 316(22): 2402-2410.
8. 张明, 周思睿. 把握挑战和机遇：人工智能与眼科诊疗[J]. 中华眼底病杂志, 2021, 37(2): 93-97.
ZHANG Ming, ZHOU Sirui. Grasp challenges and opportunities: artificial intelligence and ophthalmic diagnosis and treatment[J]. Chinese Journal of Ocular Fundus Diseases, 201, 37(2): 93-97.
9. 李晓华, 杨滢瑞, 卜威振, 等. 远程医疗在糖尿病视网膜病变诊疗中的应用进展研究[J]. 中国医疗设备, 2020, 35(8): 157-160.
LI Xiaohua, YANG Yingrui, BU Weizhen, et al. Application of telemedicine in the diagnosis and treatment of diabetic retinopathy[J].

China Medical Devices, 2020, 35(8): 157-160.

10. Kernt M, Ulbig M, Kampik A, et al. Navigated retinal laser therapy[J]. Ophthalmologe, 2013, 110(8): 776-782.
11. Kozak I, Payne JF, Schatz P, et al. Teleophthalmology image-based navigated retinal laser therapy for diabetic macular edema: a concept of retinal telephotocoagulation[J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2017, 255(8): 1509-1513.
12. Kozak I, Payne J, Schatz P, et al. Telemedicine image-based navigated retinal laser therapy[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2016, 57(12): 5853.
13. 马凯. 国外糖尿病视网膜病变远程诊疗现状及在我国的尝试[J]. 武警医学, 2018, 29(8): 741-746.
MA Kai. The current situation of remote diagnosis and treatment of diabetic retinopathy abroad and its attempt in China[J]. Medical Journal of the Chinese People's Armed Police Force, 2018, 29(8): 741-746.
14. Chen H, Pan X, Yang J, et al. Application of 5G technology to conduct real-time teleretinal laser photocoagulation for the treatment of diabetic retinopathy[J]. JAMA Ophthalmol, 2021, 139(9): 975-982.
15. Hellström A, Smith LE, Dammann O. Retinopathy of prematurity[J]. Lancet, 2013, 382(9902): 1445-1457.
16. Ting DSW, Wu WC, Toth C. Deep learning for retinopathy of prematurity screening[J]. Br J Ophthalmol 2018. doi: 10.1136/bjophthalmol-2018-313290.
17. 陈楠, 蔡江怀, 蒋沁, 等. 人工智能在小儿眼科的研究进展[J]. 中国斜视与小儿眼科杂志, 2020, 28(4): 43-44.
CHEN Nan, CAI Jianghuai, JIANG Qin, et al. Progress in the research of artificial intelligence for pediatric ophthalmology[J]. Chinese Journal of Strabismus and Pediatric Ophthalmology, 2020, 28(4): 43-44.
18. Brown JM, Campbell JP, Beers A, et al. Automated diagnosis of plus disease in retinopathy of prematurity using deep convolutional neural networks[J]. JAMA Ophthalmol, 2018, 136(7): 803-810.
19. Jackson KM, Scott KE, Graff Zivin J, et al. Cost-utility analysis of telemedicine and ophthalmoscopy for retinopathy of prematurity management[J]. Arch Ophthalmol, 2008, 126(4): 493-499.
20. 陈亦棋, 祝晨婷, 沈丽君, 等. 早产儿视网膜病变远程筛查的有效性评估[J]. 中华眼底病杂志, 2017, 33(6): 633-634.
CHEN Yiqi, ZHU Chenting, SHEN Lijun, et al. Evaluation of remote screening for retinopathy of prematurity[J]. Chinese Journal of Ocular Fundus Diseases, 2017, 33(6): 633-634.
21. Wang SK, Callaway NF, Wallenstein MB, et al. SUNDROP: six years of screening for retinopathy of prematurity with telemedicine[J]. Can J Ophthalmol, 2015, 50(2): 101-106.
22. Philip S, Fleming AD, Goatman KA, et al. The efficacy of automated "disease/no disease" grading for diabetic retinopathy in a systematic screening programme[J]. Br J Ophthalmol, 2007, 91(11): 1512-1517.
23. Solanki K, Ramachandra C, Bhat S, et al. EyeArt: automated, high-throughput, image analysis for diabetic retinopathy screening. Invest Ophthamol Vis Sci 2015, 56(7): 14-29.
24. 李淑婷, 吴强. 远程医疗在糖尿病视网膜病变筛查项目中应用的价值及前景[J]. 国际眼科杂志, 2021, 21(2): 257-261.
LI Shuting, WU Qiang. Application value and prospect of telemedicine in screening program of diabetic retinopathy[J]. International Eye Science, 2021, 21(2): 257-261.
25. Wu X, Huang Y, Liu Z, et al. Universal artificial intelligence platform for collaborative management of cataracts[J]. Br J Ophthalmol, 2019, 103(11): 1553-1560.
26. Long E, Chen J, Wu X, et al. Artificial intelligence manages congenital cataract with individualized prediction and telehealth computing[J]. NPJ Digit Med, 2020, 3: 112.
27. 张莉, 徐捷, 曹凯, 等. 远程眼科会诊对青光眼检出效果影响的研究[J]. 中华眼科医学杂志(电子版), 2019, 9(4): 206-211.
ZHANG Li, XU Jie, CAO Kai, et al. The effect of remote ophthalmic consultation on the detection of glaucoma[J]. Chinese Journal of Ophthalmology, 2019, 9(4): 206-211.
28. 蔡雁岭, 翟运开, 侯红纳, 等. 基于远程医疗网络角色的成本-效益分析[J]. 中国卫生经济, 2014, 33(10): 8-10.
CAI Yanling, ZHAI Yunkai, HOU Hongna, et al. Cost-benefit analysis based on the role of telemedicine network[J]. Chinese Health Economics, 2014, 33(10): 8-10.
29. Komaroff AL. The variability and inaccuracy of medical data[J]. Proc IEEE, 1979, 67(9): 1196-1207.
30. 翟运开, 路薇, 张瑞霞, 等. 多维集成视角下精准医疗数据融合标准体系构建[J]. 中国卫生资源, 2020, 23(1): 23-27.
ZHAI Yunkai, LU Wei, ZHANG Ruixia, et al. Construction of precision medical data fusion standard system from multidimensional integration perspective[J]. Chinese Health Resources, 2020, 23(1): 23-27.
31. 马文瑞, 姜茂敏. 远程医疗患者隐私风险识别与防控对策探讨[J]. 中国医疗管理科学, 2021, 11(1): 59-62.
MA Wenrui, JIANG Maomin. Risk identification and prevention of patients' privacy in telemedicine[J]. Chinese Journal of Medical Management Sciences, 2021, 11(1): 59-62.
32. 范颖丹. 大数据时代个人隐私风险及对策分析[J]. 电子世界, 2020(13): 5-6.
FAN Yingdan. Analysis of personal privacy risks and countermeasures in the Era of big Data[J]. Electronic World, 2020(13): 5-6.
33. 赵蓉, 何萍. 医疗大数据应用中的个人隐私保护体系研究[J]. 中

国卫生信息管理杂志, 2016, 13(2): 191-196.
ZHAO Rong, HE Ping. Research on personal privacy Protection System in medical big Data Application[J]. Chinese Journal of Health Information Management, 2016, 13(2): 191-196.

34. 曹建峰. 人工智能：机器歧视及应对之策[J]. 信息安全与通信保密, 2016(12): 15-19.
CAO Jianfeng. Artificial intelligence: machine discrimination and countermeasures[J]. Information Security and Communication Privacy, 2016(12): 15-19.

35. Murdoch I. Telemedicine[J]. Br J Ophthalmol, 1999, 83(11): 1254-1256.

36. Rathi S, Tsui E, Mehta N, et al. The current state of teleophthalmology in the United States[J]. Ophthalmology, 2017, 124(12): 1729-1734.

37. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence[J]. Nat Med, 2019, 25(1): 44-56.

本文引用：杨玉微, 云东源, 李龙辉, 陈睛晶. 眼科人工智能在远程医疗中的应用[J]. 眼科学报, 2022, 37(3): 238-244. doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2022.03.05
Cite this article as: YANG Yuwei, YUN Dongyuan, LI Longhui, CHEN Jingjing. Application of ophthalmic artificial intelligence in telemedicine[J]. Yan Ke Xue Bao, 2022, 37(3): 238-244. doi: 10.3978/j.issn.1000-4432.2022.03.05