

眼科远程医疗发展现状与前景

张 潇，陈有信

中国医学科学院 北京协和医学院 北京协和医院眼科 中国医学科学院眼底病重点实验室，北京 100730

通信作者：陈有信 电话：010-69156351，E-mail：chenyouxinpumch@163.com

【摘要】随着技术的进步，医生可通过远程医疗进行疾病的诊断和治疗。目前眼科远程医疗主要用于某些眼科疾病的筛查和诊断、慢性眼病的监测，以及眼科疾病的远程会诊等。随着眼科远程医疗的需求及应用不断增加，逐渐暴露出存在的一些问题，如基础设施和人员配备、医疗风险、患者接受度和满意度、网络安全和隐私保护、医疗保险覆盖等。COVID-19 疫情全球大流行将远程医疗推向了眼科医疗服务的前沿，并可能持续改变眼科疾病的诊疗模式。随着人工智能技术的发展、5G 通信网络覆盖范围的扩大、基层医疗服务人员培训的规范化及相关法律法规的出台，眼科远程医疗将更加规范和完善，应用范围更加广泛，为患者提供高质量、可持续性的医疗服务。

【关键词】眼科远程医疗；糖尿病视网膜病变；早产儿视网膜病变；青光眼；年龄相关性黄斑变性；人工智能
【中图分类号】 R770.4；TP18 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1674-9081(2021)05-0755-06
DOI: 10.12290/xhyxzz.2021-0198

Current Situation and Prospect of Teleophthalmology

ZHANG Xiao, CHEN Youxin

Key Laboratory of Ocular Fundus Diseases, Chinese Academy of Medical Sciences; Department of Ophthalmology, Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College, Beijing 100730, China

Corresponding author: CHEN Youxin Tel: 86-10-69156351, E-mail: chenyouxinpumch@163.com

【Abstract】 With the development of technology, doctors can diagnose and treat many diseases through telemedicine. At present, teleophthalmology is mainly used in screening and diagnosing some ocular diseases, monitoring chronic ocular diseases, as well as teleconsultation. With the increasing demand and application of teleophthalmology, some problems will gradually become prominent, such as insufficient equipment and staff, medical risks, patient acceptance and satisfaction, network security, privacy, and covering of medical insurance. The global pandemic of COVID-19 has unexpectedly brought telemedicine to the forefront of ophthalmic services, and may continue to change the way of ophthalmic diagnosis and treatment. With the development of artificial intelligence technology, the expansion of 5G communication network coverage, the standardized training of primary medical staff, and the introduction of relevant laws and regulations, teleophthalmology will become more improved, universal, and widely applied, so as to provide patients with sustainable medical services of higher quality.

【Key words】 teleophthalmology; diabetic retinopathy; retinopathy of prematurity; glaucoma; age-related macular degeneration; artificial intelligence

Funding: The Non-profit Central Research Institute Fund of Chinese Academy of Medical Sciences (2018PT32029)

Med J PUMCH, 2021,12(5):755-760

远程医疗是指通过各种远程通信工具,包括电话、智能手机、移动无线设备和视频连接等,以双向传送数据、语音、图像等信息为手段,远程提供医疗保健服务^[1]。由于眼科很多疾病的诊断有赖于影像和手术技术的发展,专业特点决定了眼科处于医学技术进步的前沿,包括在远程医疗和人工智能(artificial intelligence, AI)领域的应用和发展。多项研究证明了远程医疗在眼科疾病筛查和诊断中的可靠性及有效性,眼科远程会诊正迅速发展,随着手术机器人和导航技术的进步,眼科远程手术将有更大的发展空间^[2-4]。

1 眼科远程医疗现状

1.1 远程筛查

糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)是糖尿病最重要的微血管并发症之一,而威胁视力的糖尿病视网膜病变(vision-threatening diabetic retinopathy, VTDR)是导致视力损伤的主要原因,临床需重点关注并积极治疗。2019年,糖尿病全球患病率约为9.3%(4.63亿人),预计2045年将上升至10.9%(7亿人)^[5]。美国、澳大利亚、欧洲和亚洲的汇总数据显示1型和2型糖尿病患者的DR总患病率为34.6%,其中7%的患者存在VTDR^[6]。DR的筛查和防治是全球性挑战,也是眼科远程医疗应用最多、最有成效的领域。AI技术与远程医疗相结合,可提供更广泛、更高成本效益的筛查,特别适用于中低收入人群,有助于解决DR相关的健康负担^[7]。

英国和新加坡等一些发达国家率先建立了基于远程医疗的DR筛查,由专业培训的医务人员(包括护士、验光师等)进行数字眼底照相和阅片^[8-9]。随后,美国、印度、澳大利亚、南非、赞比亚、坦桑尼亚等国家也开展了不同规模的DR远程筛查。近年来,我国也在不同地区开展了规模不等的DR筛查,如健康快车DR筛查工程和中国糖网筛防工程,具有一定的影响力。远程筛查解决了许多国家和地区医疗服务分布不均衡的问题,有助于提高DR筛查的覆盖率,降低筛查费用。专业阅片医师是影响DR筛查项目规模的重要因素,而AI成为解决这一矛盾的有效途径。随着AI诊断性能的不断提高,DR筛查对专业阅片医师的需求逐渐降低,临床医生在其中仅起到监督和仲裁作用^[10]。2010年,新加坡一项基于远程医疗的全国性DR筛查整合项目成立,共筛查约20万例糖尿病患者,由全国18个初级保健机构拍摄眼底

照片,后经专业培训的阅片医师进行阅片,远程筛查与面对面的医生评估模式相比,直接节省费用144新元/人^[9]。近年来,DR和相关眼科疾病深度学习系统正逐步整合到新加坡DR整合项目系统,使其成为第一个整合了AI阅片的国家性DR筛查项目^[11]。2000年,IHSJVN(Indian Health Service-Joslin Vision Network)网络建立,成为美国基于初级保健的眼科最大远程医疗项目之一。Ting等^[12]描述了该项目的工作流程,并指出AI的应用是其关键特征,可提高阅片师对正常或轻度DR人群的分类能力,从而将存在严重眼底病变的患者置于更高优先级。

除DR外,远程筛查和AI技术在眼科其他领域也在发挥重要作用。如早产儿视网膜病变(retinopathy of prematurity, ROP)的诊断和治疗具有较强的专业性,美国仅11%的眼科医生可进行双目间接检眼镜的ROP筛查,仅6%的眼科医生可对患儿进行眼底激光治疗^[13]。而远程医疗有助于ROP的筛查,既快速又经济,且对早产儿全身状况的影响较小^[14];此外,还可获得患儿眼底的连续照片,用于后续随访观察。印度是拥有早产儿数量最多的国家,已成功实施了ROP远程筛查项目,如卡纳塔克邦ROP互联网辅助诊断系统和ROPE-SOS(Retinopathy of Prematurity Eradication Save Our Sight)项目等^[15]。

1.2 远程诊断和随访

青光眼是一种常见的致盲眼病,必须重视预防。早期青光眼患者通常无症状,往往出现视力下降后才就诊,但疾病通常已处于晚期。虽然及时诊断和治疗可预防不可逆的视力丧失,但与DR等疾病不同,单纯通过眼底彩照进行早期青光眼的筛查较为困难,确诊往往需要有经验的眼科医生,从而增加了筛查的成本。目前,远程医疗在青光眼的筛查中未能广泛开展,且假阳性率较高,提示其不适合青光眼人群筛查^[16]。

开角型青光眼具有起病隐匿、发展缓慢及终身治疗等特征,目前解决其诊断与随访的一项先进技术即是远程医疗。远程医疗可结合多种检查结果进行综合诊断,并提供治疗建议,以提高社区或初级医疗机构青光眼诊断的灵敏度,为医疗资源缺乏地区的患者提供有效的医疗服务。在英国,约50%的医院眼科使用青光眼虚拟诊所,即社区诊所的全科医生和技术人员或移动诊所收集患者的电子病历并上传至远程医疗系统,青光眼专科医生进行远程诊断、决策并将信息反馈给患者,研究发现其诊断速度、效率、安全性和可接受性不劣于当前的临床标准诊疗^[17]。最

新一项研究将 200 例成人青光眼患者的临床访视与远程医疗进行比较,发现两者在鉴别青光眼疾病进展方面同样有效,建议将远程医疗与面对面诊疗相结合用于患者的长期随访工作,特别是偏远地区或类似于 COVID-19 暴发的特殊时期^[18]。Gan 等^[19]制定了青光眼远程诊疗指南,指出青光眼远程诊疗需具备眼压计、视野计、前节影像/房角镜、眼底照相机、视网膜神经纤维层影像系统和图像软件等各种设备,以及有经验的评估医生。此外,远程诊疗应分为不同的层次,从最简单的单纯青光眼筛查到诊断咨询,再到最终的长期综合治疗监测。

年龄相关性黄斑变性 (age-related macular degeneration, AMD) 是发达国家老年人视力丧失的首要原因,也是我国老年人致盲的重要原因。AMD 的诊断通常比 DR 更为复杂,需多模式影像检查结果综合判断,因此将现有 DR 远程筛查方法扩展至 AMD 筛查并不现实。同时,AMD 需频繁复查、评估和玻璃体内注药治疗,给老年患者及家属带来诸多不便。鉴于上述原因,远程诊疗和家庭监测是 AMD 未来的发展趋势^[20],而基于 AI 和云技术方法的远程诊疗有望在某些方面替代视网膜疾病专家的工作^[21]。关于 AMD 远程医疗的首个前瞻性随机对照研究表明,无论初诊患者还是随访复发患者,远程医疗和面对面诊疗均可达到相同的效果,患者满意度无差异;此外,对于可能发生脉络膜新生血管的高危 AMD 患者进行远程家庭监测比定期进行门诊检查的成本效益更高^[22]。便携式非散瞳眼底相机、光学相干断层成像 (optical coherence topography, OCT) 仪、可安装于智能手机的简易眼底照相镜头,以及基于智能手机的视力检测应用软件 (如 myVisiontrack™ 和 Alleye™) 等产品的开发,为 AMD 远程诊疗和家庭监测提供了更多可能^[23]。

远程医疗在其他眼科疾病的应用,如角膜疾病/白内障的诊断、眼科急症的紧急会诊、屈光不正的监测等均在相继开展中,其安全性、有效性和社会经济价值有待进一步研究^[16]。

1.3 远程手术和治疗

2001 年,美国纽约的外科医生为法国东北部斯特拉斯堡的 1 例患者实施了腹腔镜胆囊切除术,此为世界首例人体远程手术,这一开创性尝试显示了远程医疗技术的巨大潜力,但由于缺乏快速可靠的网络,加之手术机器人的自身局限性,多年来这项壮举无人能安全而可靠地重复^[24]。在外科手术中,任何微小的延迟都会对患者造成严重伤害,甚至导致死亡。为

提高远程手术的安全性,研究者尝试采用深度学习方法辅助计算机视觉以减轻延迟的影响,力争对手术器械相对于患者组织位置进行更精确的监测,增加了远程手术系统的安全性^[25]。第五代移动通信技术 (5th generation mobile communication technology, 5G) 以其速度快、频谱宽、延时低等特点,为远程手术提供了新的可能,我国在基于 5G 的远程外科手术方面进行了率先尝试。2018 年 12 月 18 日,我国外科医生利用 5G 网络远程无线操控机器人床旁系统,为 50 公里外的 1 只实验猪行肝小叶切除术,这是世界首例 5G 远程外科手术测试^[26]。在眼科手术领域,目前尚无人体远程机器人手术的报道。在远程治疗方面,北京协和医院眼科团队开展了一些探索性研究。2019 年 7 月 7 日,陈有信教授完成了全球首例 5G 远程眼底激光治疗,采用靶向导航激光仪进行规划并启动激光机自动治疗,根据患者情况随时调整参数,最终安全、精准、顺利地完成了激光治疗,患者体验良好;后续又开展了一些尝试和研究,证实了远程眼底激光治疗的安全性和有效性^[27]。眼底激光治疗有望成为眼科领域远程手术治疗的突破点。

1.4 远程教育

眼科远程教育属于远程医疗的一部分,其对象包括眼科基层医生、保健人员和患者,大量的会诊病例经匿名化处理后可用作教学和培训资料。2014 年,爱丁堡大学与苏格兰皇家外科学院合作,开发了远程眼科学虚拟学习平台,供学习者进行专业学习和教学互动,以提高当地眼科的诊疗水平^[28]。该平台的优势在于不受时间和空间限制,学习资源均为临床患者的实际诊疗过程,图文并茂且真实可信,学习者还可在平台上进行互动和提问,特别适用于眼科基层医生、保健医师、验光师等,而他们的交流互动对于提高眼科诊疗技术具有重要意义。经过 4 年的实践,苏格兰形成了区域共享医疗计划,通过初级、二级医疗机构间的密切沟通,已实现在社区监测轻度或稳定性眼科疾病患者,包括白内障术后、低风险青光眼、高眼压症、轻度葡萄膜炎、角膜炎、角膜擦伤和角膜异物等^[28]。

远程教育还可用于眼科疾病特别是慢性眼病患者的指导和教育,包括线上讲座、咨询及远程医疗过程中的患者指导。一项针对虚拟门诊和面对面门诊患者的青光眼知识调查显示,两组患者青光眼知识得分无显著性差异,但在虚拟门诊就诊的青光眼患者能够正确识别青光眼的类型^[29]。另一项评估白内障相关互联网资源内容、质量和可读性的研究显示,网上关于

白内障及其手术的资源不足以让患者清楚、全面地了解所患疾病及相关治疗方案^[30]。因此,通过远程医疗进行患者教育和科普,其效果明显优于互联网在线资源,是一种易于普及且值得推广的教育方式。

2 COVID-19 流行期间的眼科远程医疗

COVID-19 全球大流行将远程医疗带至眼科医疗服务的前沿,并可能持续改变眼科疾病的诊疗模式。COVID-19 感染者可能因眼部症状和体征的出现先于呼吸道症状而首诊于眼科,眼科医生需对患者进行近距离检查,非接触式眼压计和泪道冲洗等操作可导致眼表微生物气溶胶化,因此眼科医生属于易受病毒传播影响的职业^[31]。一项针对 214 名视网膜疾病专家的调查显示,COVID-19 大流行期间眼科远程医疗和居家监测的使用率均显著增加^[32]。Portney 等^[33]对 362 355 例眼科门诊病例进行研究发现,远程医疗的使用率在疫情期间(1.6%)较疫情前(0.04%)明显升高,其中角膜和外眼疾病占比为 48.0%,玻璃体视网膜疾病、青光眼和白内障占比分别为 16.8%、13.4%和 3.1%。

COVID-19 全球大流行期间眼科远程医疗的应用主要聚焦以下 4 个方面:(1)减少眼科门诊的人力需求;(2)减少患者与医生直接接触的风险;(3)储存医学图像和临床资料以便及时有效地进行复查;(4)实时视频会诊和诊断^[31]。通过远程医疗对患者进行初步筛查和分类,筛选出的急症患者应立即急诊就诊,而病情稳定者则建议择期就诊或通过远程医疗问诊。Bourdon 等^[34]采用一种基于患者既往病史和临床症状的算法对眼科急诊患者进行分类,并指导其进行紧急就诊、择期就诊和远程诊疗,通过该方法可减少眼科急诊 1/2 的患者量,有助于控制眼科急诊流量。除减少患者与医生的直接接触外,远程医疗还可延长眼科检查的距离,如裂隙灯检查距离从 27 cm 增至 67 cm,手持裂隙灯检查距离从 18 cm 增至 55 cm,眼底检查的距离从 5 cm (直接检眼镜)增至 47 cm (眼底照相机)^[35]。

3 眼科远程医疗存在的问题

随着 AI、远程医疗技术的快速发展,眼科远程医疗的需求和应用不断增加,但其中也存在一些值得关注的问题,主要表现在以下方面^[16,36]。

(1) 眼科远程医疗不能完全替代临床眼科查体,

这是远程医疗应用的最大障碍。目前可通过眼底照相进行眼底病变筛查,但周边视网膜的照相往往欠清晰,可能导致某些视网膜病变的漏诊;此外,无法通过视频会诊平台进行裂隙灯生物显微镜检查,眼前节照相不能取代临床医生全面、动态的检查。因此,对于某些眼科疾病(如葡萄膜炎),很难通过远程医疗进行详细检查并提出治疗方案。

(2) 基础设施和人员配备问题。成像设备、硬件设施和网络技术是开展远程医疗的基础条件,免散瞳照相机、OCT 及基于智能手机的眼底照相机等均价格不菲,且需额外培训可熟练操作这些仪器的初级保健人员,势必增加其工作量和 workload^[2]。由于社会和地理因素的影响,某些地区或部分患者无法使用满足远程医疗要求的网络和通信设备,造成远程医疗的服务不足。此外,部分患者因视力障碍无法阅读或打开某些应用程序,在一定程度上限制了眼科远程诊疗的能力。

(3) 医生的责任和风险问题。虽然多数研究已证实眼科远程医疗在 DR、ROP、青光眼、AMD 等疾病的筛查和随访中发挥重要作用,但远程医疗的医患关系和查体质量势必低于面对面诊疗。医学不仅是一门科学,也是一门艺术,与患者进行面对面交流和查体是临床医学的重要环节,有时也是必须的。调查显示,59% 的眼科医生对于仅根据眼科图像作出决定的能力“信心不足”^[37]。向患者说明不同情境下远程医疗的优势及局限性,取得患者理解并签署知情同意书,是目前可采取的方法。但如何降低远程医疗中的漏诊、误诊率,尽可能减少医生的风险,仍需大量前瞻性研究证实。

(4) 患者的接受度和满意度问题。远程医疗特别是疾病诊断和随访的效果及满意度,与患者的文化程度和认知水平存在一定关系。Wildenbos 等^[38]系统评估了年龄对远程医疗的影响,指出认知、动机、体能和感知 4 个方面影响 50 岁以上老年人使用远程医疗的效果。随着远程医疗的普及和应用增加,特别是 COVID-19 全球暴发造成复诊延迟,患者的就诊观念也将发生积极改变。

(5) 网络安全和隐私保护问题。随着远程医疗的使用不断增加,网络安全和隐私保护成为值得关注的问题,涉及伦理、法律和监管等多个层面^[39]。远程医疗不是一个简单的医疗过程,而是一个标准化的诊疗流程,涉及医疗、技术、网络、法律、管理等多学科团队人员,亟需制订相关法律法规和操作指南对其进行规范和完善。

(6) 其他社会问题。实施远程诊疗过程中, 由于不同地区会诊单位的电子病历未实现共享, 可能存在部分患者反复就诊和开药, 难免造成医疗保险的浪费甚至药物滥用, 无法界定医疗保险的覆盖范围。此外, 医生在不同医疗机构的网络平台上参与远程诊疗, 涉及执业范围的限制、如何实现标准化认证及相关责任认定^[1]等, 这些问题均有待解决。

4 小结与展望

眼科影像学和诊疗技术的发展一直处于医疗创新的前沿, 远程医疗的引入为提高眼科医疗服务能力提供了广阔的发展空间, 更多患者将受益于眼部疾病的早期诊断和治疗。目前眼科远程医疗主要用于 DR/ROP 的筛查、青光眼的诊断、慢性眼病的监测、眼科远程会诊等。在当前医疗环境下, 眼科远程医疗仍然仅是面对面诊疗的有益补充, 基础设施和人员配备、医疗风险、患者接受度、网络安全和隐私保护等诸多问题均有待解决。随着 AI 技术的发展、5G 通信网络覆盖范围的扩大、基层医疗服务人员培训的规范化及相关法律法规的出台, 眼科远程医疗将更加规范、应用范围更加广泛, 涵盖眼科慢性疾病管理和急症会诊, 甚至远程手术, 为患者提供高质量、可持续的医疗服务。目前我国医疗资源区域分布不均衡, 远程医疗可下沉优质医疗资源, 有效缓解偏远地区高端医学人才匮乏和高端医疗设备不足的难题; 同时, 远程会诊功能可为基层医务人员提供更多学习机会, 提升基层医疗服务质量和水平。

作者贡献: 张潇负责文献检索、资料整理及文章撰写; 张有信负责文章框架设计、总体规划及审核。

利益冲突: 无

参 考 文 献

[1] Dorsey ER, Topol EJ. State of Telehealth [J]. N Engl J Med, 2016, 375: 154-161.

[2] Parikh D, Armstrong G, Liou V, et al. Advances in Telemedicine in Ophthalmology [J]. Semin Ophthalmol, 2020, 35: 210-215.

[3] Hadziahmetovic M, Nicholas P, Jindal S, et al. Evaluation of a Remote Diagnosis Imaging Model vs Dilated Eye Examination in Referable Macular Degeneration [J]. JAMA Ophthalmol, 2019, 137: 802-808.

[4] Grau E, Horn F, Nixdorff U, et al. OCT and IOP findings

in a healthy worker cohort: results from a teleophthalmic study in occupational medicine [J]. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol, 2019, 257: 2571-2578.

[5] Saeedi P, Petersohn I, Salpea P, et al. IDF Diabetes Atlas Committee. Global and regional diabetes prevalence estimates for 2019 and projections for 2030 and 2045: Results from the International Diabetes Federation Diabetes Atlas, 9 th edition [J]. Diabetes Res Clin Pract, 2019, 157: 107843.

[6] Yau JW, Rogers SL, Kawasaki R, et al. Meta-Analysis for Eye Disease (META-EYE) Study Group. Global prevalence and major risk factors of diabetic retinopathy [J]. Diabetes Care, 2012, 35: 556-564.

[7] Wong TY, Sabanayagam C. Strategies to Tackle the Global Burden of Diabetic Retinopathy: From Epidemiology to Artificial Intelligence [J]. Ophthalmologica, 2020, 243: 9-20.

[8] Scotland GS, McNamee P, Fleming AD, et al. Scottish Diabetic Retinopathy Clinical Research Network. Costs and consequences of automated algorithms versus manual grading for the detection of referable diabetic retinopathy [J]. Br J Ophthalmol, 2010, 94: 712-719.

[9] Nguyen HV, Tan GS, Tapp RJ, et al. Cost-effectiveness of a National Telemedicine Diabetic Retinopathy Screening Program in Singapore [J]. Ophthalmology, 2016, 123: 2571-2580.

[10] Horton MB, Brady CJ, Cavallerano J, et al. Practice Guidelines for Ocular Telehealth-Diabetic Retinopathy, Third Edition [J]. Telemed J E Health, 2020, 26: 495-543.

[11] Fonda SJ, Bursell SE, Lewis DG, et al. The Indian Health Service Primary Care-Based Teleophthalmology Program for Diabetic Eye Disease Surveillance and Management [J]. Telemed J E Health, 2020, 26: 1466-1474.

[12] 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: 2211-2223.

[13] Trese MT. What is the real gold standard for ROP screening? [J]. Retina, 2008, 28: S1-S2.

[14] Brady CJ, D'Amico S, Campbell JP. Telemedicine for Retinopathy of Prematurity [J]. Telemed J E Health, 2020, 26: 556-564.

[15] Shah PK, Ramya A, Narendran V. Telemedicine for ROP [J]. Asia Pac J Ophthalmol (Phila), 2018, 7: 52-55.

[16] Li JO, Liu H, Ting DSJ, et al. Digital technology, telemedicine and artificial intelligence in ophthalmology: A

- global perspective [J]. *Prog Retin Eye Res*, 2021, 82: 100900.
- [17] Court JH, Austin MW. Virtual glaucoma clinics: patient acceptance and quality of patient education compared to standard clinics [J]. *Clin Ophthalmol*, 2015, 9: 745-749.
 - [18] Odden JL, Khanna CL, Choo CM, et al. Telemedicine in long-term care of glaucoma patients [J]. *J Telemed Telecare*, 2020, 26: 92-99.
 - [19] Gan K, Liu Y, Stagg B, et al. Telemedicine for Glaucoma: Guidelines and Recommendations [J]. *Telemed J E Health*, 2020, 26: 551-555.
 - [20] Brady CJ, Garg S. Telemedicine for Age-Related Macular Degeneration [J]. *Telemed J E Health*, 2020, 26: 565-568.
 - [21] Hwang DK, Hsu CC, Chang KJ, et al. Artificial intelligence-based decision-making for age-related macular degeneration [J]. *Theranostics*, 2019, 9: 232-245.
 - [22] Li B, Powell AM, Hooper PL, et al. Prospective evaluation of teleophthalmology in screening and recurrence monitoring of neovascular age-related macular degeneration: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2015, 133: 276-282.
 - [23] Wittenborn JS, Clemons T, Regillo C, et al. Economic Evaluation of a Home-Based Age-Related Macular Degeneration Monitoring System [J]. *JAMA Ophthalmol*, 2017, 135: 452-459.
 - [24] Acemoglu A, Peretti G, Trimarchi M, et al. Operating From a Distance: Robotic Vocal Cord 5G Telesurgery on a Cadaver [J]. *Ann Intern Med*, 2020, 173: 940-941.
 - [25] Sachdeva N, Klopukh M, Clair RS, et al. Using conditional generative adversarial networks to reduce the effects of latency in robotic telesurgery [J]. *J Robot Surg*, 2021, 15: 635-641.
 - [26] Zheng J, Wang Y, Zhang J, et al. 5G ultra-remote robot-assisted laparoscopic surgery in China [J]. *Surg Endosc*, 2020, 34: 5172-5180.
 - [27] 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. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2021.2312.
 - [28] Annot R, Patel S, Beck D, et al. Digital ophthalmology in Scotland: benefits to patient care and education [J]. *Clin Ophthalmol*, 2019, 13: 277-286.
 - [29] Tatham AJ, Ali AM, Hillier N. Knowledge of Glaucoma Among Patients Attending Virtual and Face-to-Face Glaucoma Clinics [J]. *J Glaucoma*, 2021, 30: 325-331.
 - [30] Patel AJ, Kloosterboer A, Yannuzzi NA, et al. Evaluation of the Content, Quality, and Readability of Patient Accessible Online Resources Regarding Cataracts [J]. *Semin Ophthalmol*, 2021, 36: 384-391.
 - [31] Chong JC, Tan CHN, Chen DZ. Teleophthalmology and its evolving role in a COVID-19 pandemic: A scoping review [J]. *Ann Acad Med Singap*, 2021, 50: 61-76.
 - [32] Faes L, Rosenblatt A, Schwartz R, et al. Overcoming barriers of retinal care delivery during a pandemic-attitudes and drivers for the implementation of digital health: a global expert survey [J]. *Br J Ophthalmol*, 2020. doi: 10.1136/bjophthalmol-2020-316882.
 - [33] Portney DS, Zhu Z, Chen EM, et al. COVID-19 and Use of Teleophthalmology (CUT Group): Trends and Diagnoses [J]. *Ophthalmology*, 2021. doi: 10.1016/j.ophtha.2021.02.010.
 - [34] Bourdon H, Herbaut A, Trinh L, et al. An algorithm in ophthalmic emergencies to evaluate the necessity of physical consultation during COVID-19 lockdown in Paris: Experience of the first 100 patients [J]. *J Fr Ophtalmol*, 2021, 44: 307-312.
 - [35] Ghazala FR, Hamilton R, Giardini ME, et al. Teleophthalmology techniques increase ophthalmic examination distance [J]. *Eye (Lond)*, 2021, 6: 1780-1781.
 - [36] Sommer AC, Blumenthal EZ. Telemedicine in ophthalmology in view of the emerging COVID-19 outbreak [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2020, 258: 2341-2352.
 - [37] Rath S, Tsui E, Mehta N, et al. The Current State of Teleophthalmology in the United States [J]. *Ophthalmology*, 2017, 124: 1729-1734.
 - [38] Wildenbos GA, Peute L, Jaspers M. Aging barriers influencing mobile health usability for older adults: A literature based framework (MOLD-US) [J]. *Int J Med Inform*, 2018, 114: 66-75.
 - [39] Gioia G, Salducci M. Medical and legal aspects of telemedicine in ophthalmology [J]. *Rom J Ophthalmol*, 2019, 63: 197-207.

(收稿: 2021-02-17 录用: 2021-04-21 在线: 2021-09-01)

(本文编辑: 李玉乐)