

人工智能在眼整形外科中的应用

马樱格¹, 李史序², 张咏鑫², 梅军², 叶琳², 杨美娜²

引用: 马樱格, 李史序, 张咏鑫, 等. 人工智能在眼整形外科中的应用. 国际眼科杂志, 2024, 24(3): 453-457.

基金项目: 深圳市科创委基础科研项目 (No. JCYJ20170306123423907)

作者单位: ¹(518000) 中国广东省深圳市, 暨南大学第二临床医学院; ²(518000) 中国广东省深圳市, 深圳市眼科医院 暨南大学附属深圳眼科医院 深圳市眼病防治研究所

作者简介: 马樱格, 在读硕士研究生, 研究方向: 眼整形与泪器病。

通讯作者: 叶琳, 博士, 主任医师, 博士研究生导师, 研究方向: 眼整形与泪器病. yelin0711@126.com; 杨美娜, 硕士, 主治医师, 研究方向: 眼整形与泪器病. 263355703@qq.com

收稿日期: 2023-07-12 修回日期: 2024-01-16

摘要

计算机的进步和数据的爆发使得人类迎来了第三次人工智能(AI)浪潮。AI 是一门综合性的交叉学科, 是汇集新思想、新理论、新技术等的新兴学科。AI 给眼科学带来了便利, 也推动了眼科学的智能化、精准化和微创化发展。现阶段, AI 已经在眼科学多个领域中都得到了广泛的应用, 尤其在眼整形外科领域中, AI 在图像检测、面部识别等方面取得了快速进展, 其性能及准确度在某些方面甚至已经超越了人类。本文综述了 AI 在上睑下垂、单睑、眼袋、眼睑肿物及眼球突出等眼整形外科中的相关研究和应用, 探讨了当前 AI 在眼整形外科临床应用中面临的挑战与机遇, 并对其未来发展前景进行展望, 旨在为眼整形外科 AI 的发展提供新思路。

关键词: 人工智能; 眼整形; 机器学习; 深度学习; 卷积神经网络

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2024.3.23

Application of artificial intelligence in ophthalmic plastic surgery

Ma Yingge¹, Li Shixu², Zhang Yongxin², Mei Jun², Ye Lin², Yang Meina²

Foundation item: Basic Research Project of Science and Technology Innovation Committee of Shenzhen (No. JCYJ20170306123423907)

¹Second Clinical Medical College of Jinan University, Shenzhen 518000, Guangdong Province, China; ²Shenzhen Eye Hospital; Shenzhen Eye Hospital, Jinan University; Shenzhen Eye Institute, Shenzhen 518000, Guangdong Province, China

Correspondence to: Ye Lin. Shenzhen Eye Hospital; Shenzhen Eye Hospital, Jinan University; Shenzhen Eye Institute, Shenzhen 518000, Guangdong Province, China. yelin0711@126.com; Yang

Meina. Shenzhen Eye Hospital; Shenzhen Eye Hospital, Jinan University; Shenzhen Eye Institute, Shenzhen 518000, Guangdong Province, China. 263355703@qq.com

Received: 2023-07-12 Accepted: 2024-01-16

Abstract

• The advancement of computers and data explosion have ushered in the third wave of artificial intelligence (AI). AI is an interdisciplinary field that encompasses new ideas, new theories, and new technologies, etc. AI has brought convenience to ophthalmology application and promoted its intelligent, precise, and minimally invasive development. At present, AI has been widely applied in various fields of ophthalmology, especially in oculoplastic surgery. AI has made rapid progress in image detection, facial recognition, etc., and its performance and accuracy have even surpassed humans in some aspects. This article reviews the relevant research and applications of AI in oculoplastic surgery, including ptosis, single eyelid, pouch, eyelid mass, and exophthalmos, and discusses the challenges and opportunities faced by AI in oculoplastic surgery, and provides prospects for its future development, aiming to provide new ideas for the development of AI in oculoplastic surgery.

• KEYWORDS: artificial intelligence; oculoplastic; machine learning; deep learning; convolutional neural network

Citation: Ma YG, Li SX, Zhang YX, et al. Application of artificial intelligence in ophthalmic plastic surgery. Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci), 2024, 24(3): 453-457.

0 引言

现阶段, 人工智能(artificial intelligence, AI)在医疗领域的应用和发展已被证明具有广泛的前景。目前, AI 已在妇产科肿瘤的认识^[1]、消化科癌症的筛查^[2]、皮肤科癌症的分级^[3]及心血管科疾病的监测^[4]等多个医学学科领域中得到了广泛应用, 在提高诊疗准确度和效率的同时, 也大大缓解了医生的工作压力。AI 在医学领域的应用, 为精准医疗的发展和推动做出了巨大贡献。

当前, 国内外学者对 AI 技术在眼科领域的应用也开展了大量工作并取得了一定成效^[5]。例如, 扫描激光眼底检查(scanning laser ophthalmoscopy, SLO)和光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)等技术的广泛应用为眼科模型的开发提供了丰富的影像数据, 所以对于 AI 在诊断糖尿病视网膜病变(diabetic retinopathy, DR)、年龄相关性黄斑变性(age-related macular degeneration, ARMD)及早产儿视网膜病变(retinopathy of prematurity,

ROP)等眼后段疾病^[6]的研究迅速发展了起来。另外,角膜地形图和活体共聚焦显微镜(*in vivo* confocal microscopy, IVCM)的逐步应用也为圆锥角膜、睑板腺功能障碍及翼状胬肉等眼表疾病的AI研究提供了大量的图像数据^[7]。近年来,随着AI与眼科学之间的研究逐渐深入,AI在眼整形外科中的应用也取得了突破进展。本文旨在对目前AI在眼整形外科的应用研究及有关成果作一综述,并根据研究的现状提出未来的发展方向。进一步帮助眼整形外科医生加深对该领域的了解,为更多的研究者探索该领域提供一定的思路。

1 AI 的概述

AI是以编程的形式使计算机、机器人表现出来类似于人类的智能,可以模仿人类思维能力、从示例和经验中学习、识别图像、制定决策等^[8]。John McCarthy在1956年Dartmouth会议上提出了“人工智能”这个概念^[9],随着计算机学科的发展,AI已经取得了前所未有的进步,是一门综合统计学、概率论、语言学及数理统计等多学科的交叉前沿科学。

目前AI在医学影像放射^[10]、心血管疾病^[11]、基础病理生理^[12]等医学领域受到越来越多的重视并得到迅速发展。AI最常见的两个子领域是机器学习(machine learning, ML)和深度学习(deep learning, DL)^[13]。机器学习是AI的技术实现核心,是使计算机具有智能的根本途径^[14]。随着对ML研究的深入,AI的部分性能和精确度甚至已超越人类,尤其是在面部的识别、图像的分类以及结果的判读等方面AI具有不可比拟的优势。随着图形处理单元的出现,数学模型的进步以及大数据集和低成本传感器的应用,DL作为ML的新的子领域得到了快速的发展,DL主要分为卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)和人工神经网络(artificial neural network, ANN)^[15]。DL的核心思想是ANN,它不仅可以作为分类器,还可以作为特征提取器^[13]。然而,最适合成像数据的深度学习结构是CNN^[16]。

2 AI 在眼整形外科中的应用

眼整形外科作为眼科学和整形外科的交叉学科,在病情评估、治疗方案设计、手术方式优化选择以及术后病理快速、准确检测等方面对患者的预后具有至关重要的影响。而且眼整形外科是一门高度精细的学科,AI的精准量化指标可以填补医生仅凭视觉和直觉的缺陷,运用这些指标进行手术设计和模拟,可以提高术后效果的可预测性。同时,通过AI对患者眼部结构和功能状态的了解,还可以帮助医师做出更加合理的诊疗决策,并能及时调整治疗计划。因此,我们需要将AI的独特优势与眼整形外科自身的学科特点相结合,使其成为眼整形外科在诊断和疗效评估方面研究的热门话题和强有力的工具。

2.1 上睑下垂 上睑下垂即上眼睑降至正常位置以下的一种疾病,是由多种原因引起的,包括肌源性、神经源性、腱膜性、机械性或外伤性^[17-18]。严重情况下,上睑下垂可能会对视力发育产生影响,特别是对于婴儿和青少年上睑下垂的及时诊治。而且,上睑下垂导致的异常的外观还可能会造成患者的心身疾病。目前,手术是治疗上睑下垂的主要方法,其中提上睑肌切除术和额肌悬吊是最常见的两种手术方法^[19-20]。然而,与大多数解剖修复的医学手术

不同,上睑下垂手术还涉及美学方面的考虑^[21],所以需要眼整形外科医生对手术方案的设计更加慎重。

眼睑形态参数的自动测量和基于AI技术的自动手术决策是近年来的两个研究热点^[22-25]。Coombes等^[26]开发了一种连接裂隙灯的数码摄影系统,并测量了眼睑的5个参数。通过这种方法,将患者的头部稳定在同一平面上,并生成标准化的眼睑图像。结果表明,与传统的手持尺子测量相比,数字摄影系统的观察者之间和观察者内部的可变性很高。但是数码摄影系统仍然比传统方法有优势。利用人脸检测技术对大量照片进行人脸检测,可以克服结果的不确定性,使测量结果更加准确。Chen等^[24]利用MAIA软件编制CNN算法,基于智能手机拍摄的外眼照片,建立了自动测量上睑缘角膜映光距离(MRD1)、下睑缘角膜映光距离(MRD2)和提上睑肌肌力的DL模型。这项研究是第一个基于智能手机的眼睑形态参数自动测量的深度学习模型。与人工测量结果相比,AI测量结果更加客观。近年也有将AI技术的研究用于辅助上睑下垂的诊断,Tabuchi等^[27]通过预训练的MobileNetV2卷积神经网络开发了一个模型,用Score-CAM可视化了模型如何捕获测试数据的特征,随后验证了是否可以使用图像自动诊断上睑下垂,他们采用k-fold交叉验证(k=5)将训练和验证分离。检查受试者工作特征曲线检测上睑下垂的敏感性为83.0%(95%CI:79.8-85.9),特异性为82.5%(95%CI:79.4-85.4)。验证数据的准确度为82.8%,AUC为0.900(95%CI:0.882-0.917),证明了该模型诊断上睑下垂具有很高的准确性。同年,Hung等^[28]基于VGG-16神经网络实现了对上睑下垂患者单眼外观照片的自动识别,结果显示AI对上睑下垂的诊断优于全科医生。另外,AI还为规划手术策略提供了客观的依据,而不是仅依赖于外科医生的经验来做出诊疗。Mawatari等^[29]用镜像处理软件创建上睑下垂手术后预期外观图像,预测图像显示边缘反射距离-1降低,眉毛高度增加,皮肤高度高于术后结果。因此,在上睑下垂手术前,建立预期的术后图像是一个有用的模拟程序,可以帮助患者预测术后可能的外观。Song等^[30]将7个与上睑下垂相关的2D和3D眼部数据整合到数据库中,构建了上睑下垂手术决策模型。他们设置了3种实验方案:单独使用2D距离、单独使用3D距离、同时使用两个距离进行试验设计。三种方案的手术分类精度分别为0.8333、0.7778和1.0000。结果表明该模型在2D和3D数据联合使用时效果最好。最后,建立计算机辅助上睑下垂手术设计。但由于时间和空间的原因,该研究没有涉及参数和结果的相关性研究,所以还有待于进一步的研究。上述研究说明AI可以减少传统的低效率或障碍,在上睑下垂的检测、诊断及治疗决策方面大大提高了效率和准确率。

2.2 单睑 随着社会经济的快速发展,人们对美的需求也日益增加,目前追求重睑形态的人也日渐增多。1929年,Maruo在*Japanese Journal of Ophthalmology*上报了首例切开法重睑成形术。如今,重睑成形术的诞生已经有上百年的历史,也涌现出许多不同的手术方式,例如缝线法、切开法和埋线法等^[31-32]。然而,不同的种族、文化及个人偏好都造成了对美的不同理解。另外,由于人眼解剖结构相对复杂,每个人都具有自己独特的眼形和眉形,她们是否

适合重睑以及适合什么样的重睑,都必须综合大众的审美和求美者自身的取向。因此,在手术前需要做谨慎的评估,选择适合的手术方式。

以审美为目的的眼睑手术需要艺术判断和客观评价。但由于头部的运动和面部表情导致的细微差异,很难对眼睑手术进行比较和真正客观的评价。随着 AI 技术的发展和普及,通过机器学习算法对人脸特征进行分析并建立模型来实现面部外观评价已经成为研究热点之一。Zhai 等^[33]提出了一种全新的面部检测新方法 BeautyNet 用于面部美丽预测,该方法基于卷积神经网络,采用多尺度网络提高人脸特征的判别能力,并提出了融合不同尺度特征的多尺度模型来获取深度特征,采用迁移学习策略缓解了过拟合现象,在有限标记数据下实现了无约束的人脸美预测。他们建立了一个名为 LSFBD 的大型数据库,在 LSFBD 上进行的大量实验表明,该方法优于其他现有方法,在分类准确度方面可获得 67.48% 的分类准确率。随着 3D 摄像和测量等技术的不断发展,面部年轻化术后效果监测的量化工具也在不断涌现,这为眼整形外科医师提供了一种预测眼部形态变化的有效手段^[34]。此外,构建面部数据库还提升了在临床实践中运用 AI 技术进行面部美观评估的可操作性。眼部的整体美观度与面部息息相关,因此,可以运用该预测方法对眼部进行评估,通过术前和术后的美观对比来评估手术效果,并使用 AI 进行美观评估,从而为临床医生和患者提供更加客观的评价结果。

2.3 眼袋 眼袋通常是由于眼睑皮肤、肌肉、眶隔筋膜等眼周组织发生松弛,支撑力减弱,从而导致眶内脂肪突出形成袋状眼睑畸形,多见于下睑。严重的眼袋不仅使面部显得衰老而憔悴,对容貌外观和精神面貌产生明显的影响,而且还可能进一步加重眼脸松弛,引起下睑内翻或外翻等眼部并发症^[35]。

整形手术是治疗眼袋最有效的手段,主要是通过切除突出的眶隔脂肪以及多余的皮肤组织而达到美容效果,这是一种由外科医生制定个性化整形手术计划的方法。眼部整形手术的主要目的是实现预期的审美效果。然而,由于各种主观因素,很难判断预期的美学结果^[36]。Zhai 等^[33]提出了一种新的基于迁移学习 CNN 的面部检测方法,该方法比以往的几何评估方法具有更好的分类精度,可预测眼部整形手术效果。Yi 等^[37]通过比较基于多通道 CNN 的眼睛模型评估的整容患者术后效果与医生的经验进行评估的整容患者,探讨了眼睑对整容手术和美容效果的影响。CNN 测评组的术后程度、下眼睑皮肤皱纹、眼睑泪沟、皮肤光泽、美学评分均优于对照组,提示 CNN 是评估眼部整形手术的有益工具,这项研究的结果表明基于多通道 CNN 的眼部模型有助于提高手术后患者的美观效果,并可减少术后并发症的发生。通过这些研究可以看出,AI 在眼部整形手术领域的发展前景十分可观,值得进一步探索和推广。

2.4 眼睑肿瘤 眼睑肿瘤是日常眼科中最常见的肿瘤^[38]。由于眼睑有多种组织类型,因此可发生各种良性和恶性肿瘤。眼睑和眼周皮肤肿瘤会严重影响患者的健康和审美^[39]。眼睑恶性肿瘤因其靠近眼球、大脑和鼻窦,还可能会导致毁容和严重的并发症^[40]。目前眼睑肿瘤的诊断通常是术后对肿物进行病理检查,随着 AI 技术的发展,发现

通过外部摄影可以进行早期初步筛查,并有助于发现和监测这些肿瘤。

Seeja 等^[41]研发了一个基于 CNN 的 UNet,可以自动分割皮肤病变,并区分黑色素瘤与良性皮肤病变。在深度学习环境中,U-Net 分割算法被认为是分割的最佳方法,有助于提高分类性能。Wang 等^[42]开发了一种深度学习系统(deep learning system, DLS),可以从具有巨大信息密度的组织病理学切片中自动检测眼脸中的恶性黑色素瘤(malignant melanoma, MM)。这项研究使用标记的千兆像素病理整张幻灯片图像(whole slide image, WSI)来测试和设计用于分类的模型。使用来自卷积神经网络的恶性概率,将贴片嵌入到每个 WSI 中来产生可视化热图,并利用随机森林模型来建立 WSI 水平诊断。结果显示,模型实现了 AUC 为 0.989(95%CI:0.989-0.991),准确度、灵敏度和特异性分别为 94.9%、94.7% 和 95.3%。对于 WSI,获得的敏感性、特异性和准确性分别为 100%、96.5% 和 98.2%,AUC 为 0.998(95%CI:0.994-1.000)。Li 等^[43]开发了一种 AI 系统,该系统使用更快的基于区域的卷积神经网络(faster R-CNN)和深度学习分类网络,在普通数码相机拍摄的摄影图像中自动定位眼脸肿瘤并区分恶性肿瘤和良性肿瘤。研究结果表明,深度学习算法 DenseNet121 在眼脸恶性肿瘤的识别中表现最好,其中 AUC 为 0.899、灵敏度为 91.5%、特异度为 79.2%。与不同层次的眼科医生相比,该系统的敏感性高于初级和高级眼科医生;与专家相当,而该系统的特异性低于专家。上述研究证实了 AI 技术在眼脸肿物中的临床应用前景十分可观,可以协助医生对恶性肿瘤早发现、早诊断、早治疗,尽可能减少误诊和漏诊。

2.5 眼球突出 甲状腺相关性眼病(thyroid-associated ophthalmopathy, TAO)是一种与内分泌有关的免疫性疾病,严重时可能导致失明和眼眶畸形,早期诊断和治疗有利于控制疾病进展,但目前缺乏可靠的筛查手段。而眼部外观的变化,包括上眼睑的内收、斜视以及眼球的突出,对于 TAO 的诊断具有至关重要的意义^[44]。

Song 等^[45]提出了 3D-ResNet 自动检测眼眶 CT 图像中的 TAO,建立了一种有发展前景的基于 CT 扫描的 TAO 筛查 AI 模型,并在临床条件下通过了应用测试。Lin 等^[46]建立了一种深度学习系统,使用磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)检测 TAO 的活动期和非活动期。发现深度卷积神经网络可以自动检测 MRI 图像中 TAO 的活性,并且鲁棒性强,主观判断少,测量误差小。该系统可以规范诊断过程,加快 TAO 的治疗决策。Hanai 等^[47]开发了一种深度神经网络,从眼眶 CT 图像中评估 Graves 眼病(Graves ophthalmopathy, GO)患者的眼外肌(extraocular muscle, EEM)肿大程度。应用于测试数据时,AUC 为 0.946,表明深度神经网络可以有效检测 GO 患者的 EEM。Lee 等^[48]使用 288 例轻度、中度至重度 GO 患者和健康对照的眼眶 CT 扫描来训练神经网络,用于诊断和评估 GO 的严重程度。Huang 等^[49]使用 ResNet-50 模型基于外眼照片获得了 TAO 的自动诊断。Karlin 等^[50]开发了一种基于外眼照片检测 TAO 的 DL 模型。一组来自临床数据库的 1 944 张照片被用于训练,另一组由 344 张附加图像组成的测试集被用于评估训练后的 DL 网络。

该模型在测试集上的准确率为 0.892,热图显示该模型能够识别出与 TAO 临床特征相对应的像素点。另外,根据 2021- EUGOGO 指南,眼眶减压术可以缓解眼前突症状,修复 TAO 患者的外观,是严重 TAO 患者的推荐治疗策略^[51]。Yoo 等^[52]利用眼眶减压患者术前和术后的外眼照片训练了条件生成对抗网络 (generative adversarial network, GAN)。训练后的 GAN 可以将术前外眼照片转化为与术后真实情况相似的预测术后图像,提示 GAN 可能成为预测眼部整形手术结果的新工具。

3 当前的挑战和困难

在眼整形外科领域,AI 将扮演至关重要的角色,为医生的诊疗提供有力支持,并为患者提供基于循证的个性化医疗服务,然而,这一领域也面临着一些挑战和难题。(1) 图像驱动的 AI 研究需要经过大量注释的标准成像数据,这些数据必须经过高质量的训练和算法优化,以确保高精度结果的产生。要获得高质量的有效数据,必须确保数据集的充分性和代表性,同时保证数据标签的准确性。然而,由于大量影像资料目前尚未实现电子化和数据化,再加上数据来源繁多、类型多样、结构复杂、标准不一等,因此获得真正高质量的有效数据成本是十分昂贵的,且标注质量参差不齐^[53]。所以,如何利用现有资源来构建一个可供大规模应用的智能化机器学习框架成为了一项具有挑战性的任务。此外,每一种 AI 研究开发的模型都有其独特的适用范围,因此在真实世界中的准确性难以保证,同时也无法进行多项研究之间的横向比较^[54]。(2) 理解 AI 网络的决策方式仍然是应用 AI 所面临的一个巨大挑战^[55]。通过 AI 算法来阐述不同疾病的潜在特征并对结果进行分类,这可能是一个黑盒子,即是否符合现实世界的不确定性^[56]。由于 AI 系统的不透明性,在应用 AI 进行图像分析时,操作者难以获得直观的证据来支持机器的决策。目前已有部分研究试图通过遮挡测试或可视化热图等方式^[57]提供结果的临床可解释性,但此类研究都处于初级阶段。随着 AI 时代的到来,大数据的价值正在以惊人的速度发展着,但同时也带来了数据泄露的安全隐患,这给个人隐私安全带来了前所未有的挑战,因此,与外眼摄影相关的伦理问题和患者隐私问题也需要进行深入研究。

4 结论

结合大量的研究发现,AI 在临床诊断和决策方面已显示出巨大的前景。虽然 AI 与眼整形外科之间的合作尚处在初级阶段,但其发展迅速,并具有广阔的前景,尤其是在精确量化、术前评估以及术后预测方面均具有巨大的应用潜力。尽管 AI 技术在临床实践的应用上还面临着巨大的挑战,但 AI 将在未来对智能医疗产生重大的影响。随着计算机算法的不断更新,高质量数据集的不断涌现,AI 今后还会在眼整形外科领域扮演更加重要的角色。

参考文献

[1] Mendelson EB. Artificial intelligence in breast imaging: potentials and limitations. *AJR Am J Roentgenol*, 2019,212(2):293-299.
[2] Gong DX, Wu LL, Zhang J, et al. Detection of colorectal adenomas with a real-time computer-aided system (ENDOANGEL): a randomised controlled study. *Lancet Gastroenterol Hepatol*, 2020,5(4):352-361.
[3] Arshad M, Khan MA, Tariq U, et al. A computer-aided diagnosis system using deep learning for multiclass skin lesion classification.

Comput Intell Neurosci, 2021,2021:9619079.
[4] Chen DT, Liang MH, Jin C, et al. Coronary calcium detection based on improved deep residual network in mimics. *J Med Syst*, 2019,43(5):119.
[5] 杨卫华,邵毅,许言午,等.眼科人工智能临床研究评价指南(2023). *国际眼科杂志*, 2023,23(7):1064-1071.
[6] 黑环环,吴惠琴.人工智能在眼科领域的应用进展. *国际眼科杂志*, 2020,20(6):1003-1006.
[7] 于慧,周奕文,杨燕宁.人工智能在眼表疾病中的应用现状. *国际眼科杂志*, 2022,22(5):726-730.
[8] Liang XB, Yang XN, Yin S, et al. Artificial intelligence in plastic surgery: applications and challenges. *Aesthetic Plast Surg*, 2021,45(2):784-790.
[9] Lawrence DR, Palacios - González C, Harris J. Artificial intelligence. *Camb Q Healthc Ethics*, 2016,25(2):250-261.
[10] Thomassin-Naggara I, Balleyguier C, Ceugnart L, et al. Artificial intelligence and breast screening: French Radiology Community position paper. *Diagn Interv Imaging*, 2019,100(10):553-566.
[11] Kwon JM, Kim KH, Jeon KH, et al. Artificial intelligence algorithm for predicting mortality of patients with acute heart failure. *PLoS One*, 2019,14(7):e0219302.
[12] Xue P, Tang C, Li Q, et al. Development and validation of an artificial intelligence system for grading colposcopic impressions and guiding biopsies. *BMC Med*, 2020,18(1):406.
[13] LeCun Y, Bengio Y, Hinton G. Deep learning. *Nature*, 2015,521:436-444.
[14] Panch T, Szolovits P, Atun R. Artificial intelligence, machine learning and health systems. *J Glob Health*, 2018,8(2):020303.
[15] Russakovsky O, Deng J, Su H, et al. ImageNet large scale visual recognition challenge. *Int J Comput Vis*, 2015,115(3):211-252.
[16] Esteva A, Kuprel B, Novoa RA, et al. Dermatologist - level classification of skin cancer with deep neural networks. *Nature*, 2017,542(7639):115-118.
[17] Lim JM, Hou JH, Singa RM, et al. Relative incidence of blepharoptosis subtypes in an oculoplastics practice at a tertiary care center. *Orbit*, 2013,32(4):231-234.
[18] McInnes CW, Lee - Wing M. Eyelid ptosis. *CMAJ*, 2015,187(14):1074.
[19] Gilhus NE, Tzartos S, Evoli A, et al. Myasthenia gravis. *Nat Rev Dis Primers*, 2019,5:30.
[20] Hou DJ, Li GH, Fang L, et al. Frontalis muscle flap suspension for the correction of congenital blepharoptosis in early age children. *PLoS One*, 2013,8(1):e53185.
[21] Ahn TJ, Kim JH, Lee EI, et al. Nonincisional conjoint fascial sheath suspension: a novel technique for minimally invasive blepharoptosis correction. *Ann Plast Surg*, 2017,79(4):334-340.
[22] Moskowitz BK, Patel AD, Pearson JM. Aesthetic and functional management of eyelid and orbital reconstruction. *Facial Plast Surg*, 2008,24(1):69-77.
[23] BahçeciŞimşek i, Şirolu C. Analysis of surgical outcome after upper eyelid surgery by computer vision algorithm using face and facial landmark detection. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2021,259(10):3119-3125.
[24] Chen HC, Tzeng SS, Hsiao YC, et al. Smartphone-based artificial intelligence - assisted prediction for eyelid measurements: algorithm development and observational validation study. *JMIR Mhealth Uhealth*, 2021,9(10):e32444.
[25] Lou LX, Cao J, Wang YQ, et al. Deep learning - based image analysis for automated measurement of eyelid morphology before and after

blepharoptosis surgery. *Ann Med*, 2021,53(1):2278–2285.

[26] Coombes AG, Sethi CS, Kirkpatrick WN, et al. A standardized digital photography system with computerized eyelid measurement analysis. *Plast Reconstr Surg*, 2007,120(3):647–656.

[27] Tabuchi H, Nagasato D, Masumoto H, et al. Developing an iOS application that uses machine learning for the automated diagnosis of blepharoptosis. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2022, 260(4):1329–1335.

[28] Hung JY, Chen KW, Perera C, et al. An outperforming artificial intelligence model to identify referable blepharoptosis for general practitioners. *J Pers Med*, 2022,12(2):283.

[29] Mawatari Y, Kawaji T, Kakizaki H, et al. Usefulness of mirror image processing software for creating images of expected appearance after blepharoptosis surgery. *Int Ophthalmol*, 2021,41(4):1151–1156.

[30] Song XF, Tong WL, Lei CY, et al. A clinical decision model based on machine learning for ptosis. *BMC Ophthalmol*, 2021,21(1):169.

[31] 许素琪, 李高峰. 切开法重睑成形术的发展历程. *中华整形外科杂志*, 2021,37(12):1410–1414.

[32] 魏蜀一, 李强, 王永前. 东亚人重睑成形术研究进展. *中华整形外科杂志*, 2019,35(10):1036–1040.

[33] Zhai YK, Cao H, Deng WB, et al. BeautyNet: joint multiscale CNN and transfer learning method for unconstrained facial beauty prediction. *Comput Intell Neurosci*, 2019,2019:1910624.

[34] Mailey B, Baker JL, Hosseini A, et al. Evaluation of facial volume changes after rejuvenation surgery using a 3-dimensional camera. *Aesthet Surg J*, 2016,36(4):379–387.

[35] 覃月, 王继华. 眼袋整形术进展. *医学美学美容*, 2020, 29(15):193–194.

[36] Swanson E. Objective assessment of change in apparent age after facial rejuvenation surgery. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*, 2011,64(9):1124–1131.

[37] YixinQu, BingyingLin, ShuilingLi, et al. Effect of multichannel convolutional neural network-based model on the repair and aesthetic effect of eye plastic surgery patients. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022:5315146.

[38] Yu SS, Zhao Y, Zhao H, et al. A retrospective study of 2228 cases with eyelid tumors. *Int J Ophthalmol*, 2018,11(11):1835–1841.

[39] Silverman N, Shinder R. What's new in eyelid tumors. *Asia Pac J Ophthalmol*, 2017,6(2):143–152.

[40] Huang YY, Liang WY, Tsai CC, et al. Comparison of the clinical characteristics and outcome of benign and malignant eyelid tumors: an analysis of 4521 eyelid tumors in a tertiary medical center. *Biomed Res Int*, 2015,2015:453091.

[41] Seeja RD, Suresh A. Deep learning based skin lesion segmentation and classification of melanoma using support vector machine (SVM). *Asian Pac J Cancer Prev*, 2019,20(5):1555–1561.

[42] Wang LY, Ding LQ, Liu ZF, et al. Automated identification of

malignancy in whole-slide pathological images: identification of eyelid malignant melanoma in gigapixel pathological slides using deep learning. *Br J Ophthalmol*, 2020,104(3):318–323.

[43] Li ZW, Qiang W, Chen HY, et al. Artificial intelligence to detect malignant eyelid tumors from photographic images. *NPJ Digit Med*, 2022,5(1):23.

[44] Hodgson NM, Rajaii F. Current understanding of the progression and management of thyroid associated orbitopathy: a systematic review. *Ophthalmol Ther*, 2020,9(1):21–33.

[45] Song XF, Liu ZJ, Li LH, et al. Artificial intelligence CT screening model for thyroid-associated ophthalmopathy and tests under clinical conditions. *Int J Comput Assist Radiol Surg*, 2021,16(2):323–330.

[46] Lin CY, Song XF, Li LH, et al. Detection of active and inactive phases of thyroid-associated ophthalmopathy using deep convolutional neural network. *BMC Ophthalmol*, 2021,21(1):39.

[47] Hanai KR, Tabuchi H, Nagasato D, et al. Automated detection of enlarged extraocular muscle in Graves' ophthalmopathy with computed tomography and deep neural network. *Sci Rep*, 2022,12(1):16036.

[48] Lee J, Seo W, Park J, et al. Neural network-based method for diagnosis and severity assessment of Graves' orbitopathy using orbital computed tomography. *Sci Rep*, 2022,12(1):12071.

[49] Huang X, Ju L, Li J, et al. An intelligent diagnostic system for thyroid-associated ophthalmopathy based on facial images. *Front Med*, 2022,9:920716.

[50] Karlin J, Gai LS, LaPierre N, et al. Ensemble neural network model for detecting thyroid eye disease using external photographs. *Br J Ophthalmol*, 2023,107(11):1722–1729.

[51] Smith TJ. Comment on the 2021 EUGOGO clinical practice guidelines for the medical management of Graves' orbitopathy. *Eur J Endocrinol*, 2021,185(6):L13–L14.

[52] Yoo TK, Choi JY, Kim HK. A generative adversarial network approach to predicting postoperative appearance after orbital decompression surgery for thyroid eye disease. *Comput Biol Med*, 2020, 118:103628.

[53] Cabitza F, Rasoini R, Gensini GF. Unintended consequences of machine learning in medicine. *JAMA*, 2017,318(6):517–518.

[54] 陈有信, 冯时, 赵清. 眼科人工智能研究的相关问题. *中华眼底病杂志*, 2022,38(2):89–92.

[55] Liu Y, Kohlberger T, Norouzi M, et al. Artificial intelligence-based breast cancer nodal metastasis detection: insights into the black box for pathologists. *Arch Pathol Lab Med*, 2019,143(7):859–868.

[56] Ting DSW, Pasquale LR, Peng L, et al. Artificial intelligence and deep learning in ophthalmology. *Br J Ophthalmol*, 2019, 103(2):167–175.

[57] Zhang K, Liu XY, Liu F, et al. An interpretable and expandable deep learning diagnostic system for multiple ocular diseases: qualitative study. *J Med Internet Res*, 2018,20(11):e11144.