

• 综 述 •

人工智能在白癜风诊疗中的应用

余时娟¹, 王 华^{2△}

(1. 重庆医科大学附属康复医院皮肤科, 重庆 400082; 2. 重庆医科大学附属儿童医院皮肤科, 重庆 400014)

[摘要] 人工智能已在医疗领域的应用中迅速发展, 白癜风为基于形态学的一种皮肤病, 有丰富的图像数据库, 基于计算机视觉, 人工智能可应用于该病的诊断、评估和治疗。该文概述了白癜风的疾病负担及诊治现状, 回顾了人工智能在白癜风的诊断、鉴别和疗效评估中的应用的的相关研究。未来需多学科合作和支持来提高人工智能的应用性能, 使大众受益。

[关键词] 白癜风; 人工智能; 机器学习; 诊断; 治疗; 综述

DOI:10.3969/j.issn.1009-5519.2025.02.050 **中图法分类号:**R758.4+1

文章编号:1009-5519(2025)02-0522-05 **文献标识码:**A

An overview of vitiligo and application of artificial intelligence in diagnosis and treatment of vitiligo

YU Shijuan¹, WANG Hua^{2△}

(1. Department of Dermatology, Rehabilitation Hospital Affiliated to Chongqing Medical University, Chongqing 400015, China; 2. Department of Dermatology, Children's Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400014, China)

[Abstract] Artificial intelligence (AI) has rapidly developed in the medical field. Vitiligo, a skin disorder based on morphology, has an extensive image database. Leveraging computer vision, AI can be applied to the diagnosis, evaluation, and treatment of this disease. This article outlined the disease burden and the current state of diagnosis and treatment of vitiligo, and reviewed related research on the application of AI in the diagnosis, differentiation, and efficacy evaluation of vitiligo. Future efforts should focus on interdisciplinary collaboration and support to enhance the performance of AI applications, ultimately benefiting the general public.

[Key words] Vitiligo; Artificial intelligence; Machine learning; Diagnosis; Treatment; Review

随着医学和科技的发展, 人工智能技术不断融入医学疾病的诊疗中, 具有巨大的应用前景, 尤其是计算机视觉技术, 特别适用于具有大量图像资料的皮肤病, 为白癜风这类依据临床资料来诊断的难治性疾病的评估提供了更加客观和准确的工具, 可以降低临床诊断的主观性, 提高早期诊断效率, 并改善患者预后。本文通过回顾白癜风的诊治现状和近年来人工智能在白癜风的应用的相关研究, 希望为白癜风诊疗相关的进一步研究提供理论参考和启示。

1 白癜风的疾病负担和诊治现状

白癜风是一种自身免疫性疾病, 由于黑素细胞的病理性破坏, 导致皮肤或黏膜出现的色素脱失斑。白癜风的发病机制涉及环境刺激、遗传背景、氧化应激、先天性或适应性免疫激活等多个方面^[1]。在世界范围内, 白癜风的患病率约为 0.06%~2.28%。在一项针对欧洲、日本和美国 3 个地区的 35 694 例参与者的

调查中, 白癜风的流行率为 1.3%^[2], 且早发性白癜风与泛发性病变和病情进展有关^[3]。白癜风具有毁容性, 严重影响患者及家属的心理社会健康和生活质量, 从而带来巨大的疾病负担^[4-5]。据报道, 32.6%~90.0% 的白癜风患者存在心理社会合并症, 如抑郁症或焦虑症等^[6-7]。白癜风的社会心理共病比痤疮、斑秃、特应性皮炎和荨麻疹更普遍, 白癜风患者的生活质量评定量表——健康状况调查简表(SF-36)的心理健康部分的评分与慢性肺病、关节炎、癌症和充血性心力衰竭相当^[8]。多项研究表明, 白癜风是一种全身性的疾病, 除皮肤外, 可出现眼睛、听觉和神经系统病变, 并且因存在共同的遗传易感性, 白癜风并发其他自身免疫性疾病和炎症性疾病的风险明显增高^[9-12]。一项全国性的横断面研究发现, 38 561 例儿童期白癜风患者, 患特应性皮炎的风险显著增加($OR=2.611$, $P<0.001$), 并且与患桥本甲状腺炎、红斑狼疮、荨麻

疹和银屑病显著相关^[13]。

根据临床表现,白癜风分为节段型、非节段型、混合型、未定类型。白癜风的诊断主要依据临床表现、伍德氏灯检查,必要时需皮肤组织病理检查^[14]。组织病理检查具有创伤性,难以被大众广泛接受,而临床诊断的准确性和及时性也受到医生的专业经验、皮损的典型程度、患者就诊时限的影响。一些非侵入性的成像技术如皮肤镜检查具有简便无创性^[15],能发现肉眼看不到的细微特征(星爆模式、微观同形反应、毛囊周围色素沉着、白毛征、毛细血管扩张等),可与其他色素减少性疾病鉴别,还能评估白癜风的演变阶段^[16-18]。但目前皮肤镜在白癜风诊断中的应用尚基于小样本回顾性研究,仍需更多探究。

白癜风的治疗策略是通过药物、光疗、外科手术等控制疾病进展、促进复色和防止复发^[19]。目前暂无确定的生物标志物来预测疾病进程,大多数治疗只能提供部分和暂时缓解。近年来,有关白癜风发病机制的新发现有希望为患者带来更具针对性、有效和安全的治疗,如 JAK 抑制剂^[20]、抗白细胞介素(IL)-15 的生物制剂等,但仍然存在很多有待解决的问题^[21]。

总之,白癜风的早期诊断和有效治疗对于疾病控制、降低经济负担和改善患者及其照顾者的生活质量至关重要。随着科技进步,将人工智能(AI)应用于该疾病,有望提高诊疗效率^[22]。

2 AI 的介绍及在皮肤病中的应用

AI 已广泛应用于医疗领域,机器学习是一种涉及统计模型和算法的 AI 技术,无需人工干预,可从数据中逐步学习以预测新样本的特征并执行所需的任务,而图像分类一直处于机器学习研究的前沿^[23-24]。卷积神经网络(CNN)是一种模拟生物神经元处理的机器学习算法,是医学图像分析中较先进的模式识别网络,最常用于分析视觉图像,其包含输入层、隐含层和输出层,信息在输入层进入神经网络,隐含层对输入特征进行学习、选择、过滤,输出层执行高级推理^[25-26]。由于皮肤病诊断主要基于视觉感知,计算机视觉算法能够根据其形态识别皮肤病变并进行分类,可实现更高的诊断一致性和准确性^[27-28]。

AI 已经在众多皮肤病变的分类应用中证明了与皮肤科医生具有相同或更高的准确性^[26,29],如使用深度卷积神经网络开发一个图像评估系统以早期诊断皮肤癌^[30]。在一项头对头研究的黑色素瘤皮肤镜图像分类任务中,CNN 在平均特异性和敏感性方面优于不同职称的 157 名皮肤科医生中的 136 名^[31]。一项研究通过 CNN 对不同类型银屑病进行分类任务,其准确率达到 84.2%^[32]。WU 等^[33]基于深度学习开发了一种针对炎症性皮肤病的图像自动诊断方法,总

体准确率为 95.80%,敏感性为 94.40%,特异性为 97.20%。KIM 等^[34]应用 CNN 模型对甲真菌病进行诊断,结果显示与 5 名经验丰富的皮肤科医师的准确性相当。

3 AI 应用于白癜风的诊断和评估

白癜风以色素脱失斑为特征表现,不仅给患者造成身心困扰,也给医疗人员带来挑战,准确诊断和评估是判断预后、制订最佳治疗方案的关键^[35]。现有的人工评估方法耗时,且主观性强,受到光线、形状、大小、部位、局部毛发、边界情况等干扰^[36],以上情况有望通过自动图像分割方法进行病灶检测来得到改善^[37]。

MAKENA 等^[36]提出了基于 InceptionResnetV2 的收缩路径和分水岭后处理的 U-Net 的 CNN 对 308 张白癜风患者的临床照片进行自动分割,Jaccard 相似系数(JI)为 73.6%。该研究量化了非皮肤科医生之间存在的变异性(约 10.0%),对于复杂程度由低到高的每张图片的分割时间,CNN 均不到 1 s,而 3 位人工分割所需时间为 2~29 min,该自动分割方法消除了人工分割的差异性和时间成本。该研究数据集相对较小,其是否适用于具有不同肤色、解剖部位和面积的更大人群的病变,还有待探究。KHATIBI 等^[38]提出了一种新的无监督的深度图像分割和常规图像分割的堆栈集成方法,用于 21 例 877 张白癜风临床图像的病灶定位,结果显示准确率、敏感性、特异性均高于 95%,Dice 指数为 97%,优于既往其他研究提出的方法和自适应多阈值的基础分割方法,能有效评估白癜风皮损。SHETH 等^[39]开发了一个基于计算机的图像分析程序,应用于 10 例白癜风患者基线和随访 2 次后的临床图像,并与研究员的手动分析方法比较,结果无显著差异,结果显示该程序适用于多种皮肤光型,能测量皮损边缘和毛囊周围的复色,适用于较小的受累面积的病变,但不适用于较大面积的病变或不平坦的部位。此外,该研究样本量很小,还需要更大规模的研究来证实其结果的应用前景。

LI 等^[40]首次提出人脸白癜风自动分割算法 FCN-UTA,其是一个具有 U-Net 结构、转置卷积层和空洞卷积层的全卷积神经网络。与现有的 5 种白癜风自动分割方法进行比较,该研究使用了来自互联网和白癜风人脸合成算法 2 种不同来源的 1 006 张临床图像,该算法对人脸白癜风区域的平均估计误差为 1.03%,比 2 名皮肤科医生和以往 5 种自动分割方法更准确。该研究改进了以往研究中存在的仅适用于光滑皮肤上斑片状皮损的分割和图像数量较少的问题。ZHANG 等^[41]构建了一个中国内部数据集(2 876 张图像)和一个全球公共数据集(1 341 张图

像),选择了 3 个适用于医学图像分类的 CNN 模型(VGG、ResNet、DenseNet)进行图像分类。CNN 与 14 名医师(专家、中级医师各 2 名、皮肤科住院医师、全科医师各 5 名)进行比较。结果显示,对于内部数据集,CNN 取得了与专家类似的 F1 分数(平均值^[标准差])(0.886 4^[0.005] vs. 0.893 3^[0.044]),并且优于中级医师(0.760 3^[0.029])、皮肤科住院医师(0.616 1^[0.068])和全科医师(0.4964^[0.139]);对于公共数据集,CNN 的 F1 评分(0.968 4^[0.005])高于专家(0.922^[0.031])。该研究结果显示,与具有不同临床经验的医生相比,CNN 的表现获得了与专家相当的准确度,优于除专家以外的医师,提示经过训练的 CNN 能在远程医疗环境中发挥白癜风的辅助诊断作用。但该研究仅限于纯图像信息,还需探索基于多模态数据包括非图像信息的研究,以更好的服务于临床医疗。

李芳郭等^[42]提出一种基于深度学习的混合人工智能模型(YOLO V3 用于检测任务、UNet++用于分割任务和 VAreaA、VAreaR、VColor 用于测量尺寸变化和复色情况),在非茨帕特里克 III 型或 IV 型皮肤的 3 982 张白癜风临床图像数据集中得到较高灵敏度 92.91%,误差率为 14.98%,Jaccard 相似系数为 0.79,但在包含非茨帕特里克 I、II 或 V 型皮肤的 145 张临床照片的额外测试集中得到较低的灵敏度(72.41%)和分割分数(JI,0.69)。该结果适用于皮肤光型为 III 型或 IV 型的亚洲人白癜风病变的严重程度评估,不太适用于不同皮肤光型的其他种族群体。

4 AI 应用于白癜风的治疗

白癜风治疗后的复色过程非常缓慢,早期复色区域较小,肉眼难以准确观察和定量,亟需一种灵敏而准确的疗效评估方法。FADZIL 等^[43]提出一种图像分析技术,应用主成分分析和独立成分分析来分别表示黑色素和血红蛋白组成的数字皮肤图像,对 20 例治疗 6 周前后的白癜风患者进行评估,该技术与 2 名皮肤科医生的整体评估得分一致,且该技术在短短的 6 周时间内有效地监测了病变区域复色的进展,可客观和更有效地评估疗效。该研究为白癜风的治疗反应提供了一种预测规则,但其样本量小,在临床工作中的适用性和优势还有待验证。SHAMSUDIN 等^[44]通过使用计算机数字成像分析系统评估了 56 例白癜风患者对每天 2 次并持续 24 周的 0.1%他克莫司软膏的治疗反应。本结果表明,该技术具有较高的灵敏度(91%)、特异性(100%)和准确性(99%),在检测复色的微小变化方面比医师的整体评估更客观、敏感,能在较短的时间内评估和监测治疗反应。但该系统如作为日常临床实践的用户软件来应用,还需进一步在使用手机、平板电脑等其他非单反数码相机设备拍

摄的照片上进行测试和验证。

白癜风的自然病程变化很大,不同治疗方式的疗效个体差异大,CAZZANIGA 等^[45]基于神经网络模型和一项为期 12 周的准分子激光联合局部皮质类固醇治疗的随机临床试验,纳入 84 例白癜风患者的 325 张面部颈部图像资料,开发了一种预测规则,预测用准分子激光治疗的白癜风患者达到一定程度的复色所需时间。该研究编译了 2 个模型,用于区分有效和无效的判别网络模型和用于计算有效者完全再复色所需时间的回归网络模型,结果显示总体准确率(95%CI):判别网络为(66.46±5.37)%,回归网络为(30.65±6.53)%。回归网络均方根误差为 23.72±2.22。2 个模型和交叉验证阶段的误差估计有显著差异,表明模型过度拟合,不能用于可靠预测该研究外的样本数据,揭示了临床预测白癜风的困难,但该研究提出了一种预测白癜风接受准分子激光治疗获得复色所需疗程的方法,可供后续研究参考。ERRICHETTI 等^[46]评估了 22 例非节段型白癜风患者的 70 处皮损基线与 NB-UVB 治疗 30 次后的临床和皮肤镜图像特征的相关性,他们使用一种用于图像分析的开源软件(Fiji)从临床图片中计算脱色面积,结果显示,局限于面部或皮肤镜下有毛囊周围色素沉着表现的白癜风皮损,接受 NB-UVB 治疗有效率较高。该方法有助于优化白癜风的治疗选择和预测光疗的疗效。但该研究仍然局限于小样本和单一的病变部位,缺乏不同治疗方法对照,未分析不同患者的临床数据如性别、年龄、病史等信息对治疗反应的影响。因此,该研究结果的代表性不佳。

5 结语与展望

AI 已应用于皮肤病学、放射学、病理学等视觉诊断的医学领域。目前,存在的普遍问题包括道德问题如违反患者的保密和知情同意的风险、成本高昂、算法背后的逻辑的不可解释性能否被社会或监管机构接受、成果难以推广到世界范围的人群等^[26,47]。

AI 已在多项皮肤良恶性疾病的分类任务中取得了较高的准确性、敏感性和特异性^[48-49]。然而,白癜风作为皮肤病学领域中有丰富的医学数据和图像资料的疾病之一,AI 在其诊疗中应用的研究相对较少,且既往的研究样本量和人口学特征较局限,不能推广到研究外人群,需要更多代表不同种族及年龄层次的大样本和高质量的数据,需要更具代表性的前瞻性的研究来验证并提高其适用性。

此外,既往的研究重点均局限于临床照片的单一模式的分类任务,相对于临床照片,皮肤镜图像利用光学成像放大技术,光源、亮度、采集方式等具有标准化特点,成像质量更佳,能更灵敏地评估病变早期细

微的改变^[50]。AI 与皮肤镜相结合,可扩大皮肤镜的适用范围包括远程医疗,提高诊疗效率,指导精准治疗。未来需探寻 AI 结合皮肤镜等皮肤影像图像和临床信息资料的多模态数据库的研究,使 AI 在白癜风等疾病的医学诊断、疗效评估方面的应用能力更接近经验丰富的专家水平,为临床工作节省人力物力,为患者降低疾病负担。最后,还需要包括工学、医学等各个领域的多学科通力合作以及社会的支持,以降低其开发和应用的成本,最终造福于人类。

参考文献

- [1] CHEN J, LI S, LI C. Mechanisms of melanocyte death in vitiligo[J]. *Med Res Rev*, 2021, 41(2): 1138-1166.
- [2] BIBEAU K, PANDYA A G, EZZEDINE K, et al. Vitiligo prevalence and quality of life among adults in Europe, Japan and the USA[J]. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 2022, 36(10): 1831-1844.
- [3] MU E W, COHEN B E, ORLOW S J. Early-onset childhood vitiligo is associated with a more extensive and progressive course[J]. *J Am Acad Dermatol*, 2015, 73(3): 467-470.
- [4] NATHALIE J, CHANG J, EZZEDINE K, et al. Health-related quality of life in paediatric patients with vitiligo: A systematic review and meta-analysis[J]. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 2021, 35(11): e755-756.
- [5] DABAS G, VINAY K, PARSAD D, et al. Psychological disturbances in patients with pigmentary disorders: A cross-sectional study[J]. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 2020, 34(2): 392-399.
- [6] EZZEDINE K, ELEFThERIADOU V, JONES H, et al. Psychosocial effects of vitiligo: A systematic literature review[J]. *Am J Clin Dermatol*, 2021, 22(6): 757-774.
- [7] THOMPSON A R, ELEFThERIADOU V, NESNAS J. The mental health associations of vitiligo: UK population-based cohort study[J]. *BJPsych Open*, 2022, 8(6): e190.
- [8] YANG Y, ZAPATA L, RODGERS C, et al. Quality of life in patients with vitiligo using the short form-36[J]. *Br J Dermatol*, 2017, 177(6): 1764-1766.
- [9] CAO L, ZHANG R, WANG Y, et al. Fine mapping analysis of the MHC region to identify variants associated with Chinese vitiligo and SLE and association across these diseases[J]. *Front Immunol*, 2021, 12: 758652.
- [10] KANG H, LEE S. Prevalence and incidence of vitiligo and associated comorbidities: A nationwide population-based study in Korea[J]. *Clin Exp Dermatol*, 2023,
- [11] LI C L, MA S H, WU C Y, et al. Association between sensorineural hearing loss and vitiligo: A nationwide population-based cohort study[J]. *J Eur Acad Dermatol Venereol*, 2022, 36(7): 1097-1103.
- [12] HADI A, WANG J F, UPPAL P, et al. Comorbid diseases of vitiligo: A 10-year cross-sectional retrospective study of an urban US population[J]. *J Am Acad Dermatol*, 2020, 82(3): 628-633.
- [13] LIM J H, LEW B L, SIM W Y, et al. Incidence of childhood-onset vitiligo and increased risk of atopic dermatitis, autoimmune diseases, and psoriasis: A nationwide population-based study[J]. *J Am Acad Dermatol*, 2022, 12: 223-242.
- [14] LEWITT T M, KUNDU R V. Vitiligo[J]. *JAMA Dermatol*, 2021, 157(9): 1136.
- [15] SETHI S, VARMA K, KUMAR U. Significance of dermoscopy in vitiligo[J]. *IP Indian J Clin Exp Dermatol*, 2020, 6(4): 356-360.
- [16] AWAL G, KAUR J, KAUR K. Dermoscopy in vitiligo: An emerging armamentarium in diagnosis and activity assessment[J]. *Pigment International*, 2022, 9(1): 25-32.
- [17] GUPTA P, VINAY K, BISHNOI A, et al. A prospective observational study to sequentially determine the dermoscopic features of vitiligo and its association with disease activity in patients on medical treatment: Dermoscopy and disease activity in vitiligo[J]. *Pigment Cell Melanoma Res*, 2023, 36(1): 33-41.
- [18] ERRICHETTI E, ZELIN E, PINZANI C, et al. Dermoscopic and clinical response predictor factors in nonsegmental vitiligo treated with narrowband ultraviolet B phototherapy: A prospective observational study[J]. *Dermatol Ther (Heidelb)*, 2020, 10(5): 1089-1098.
- [19] BERGQVIST C, EZZEDINE K. Vitiligo: A focus on pathogenesis and its therapeutic implications[J]. *J Dermatol*, 2021, 48(3): 252-270.
- [20] QI F, LIU F, GAO L. Janus kinase inhibitors in the treatment of vitiligo: A review[J]. *Front Immunol*, 2021, 12: 790125.
- [21] FRISOLI M L, ESSIEN K, HARRIS J E. Vitiligo: Mechanisms of pathogenesis and treatment[J]. *Annu Rev Immunol*, 2020, 38: 621-648.
- [22] LI Z, KOBAN K C, SCHENCK T L, et al. Artificial intelligence in dermatology image analysis: Current developments and future trends[J]. *J Clin Med*, 2022, 11(22): 1123-1134.
- [23] DU-HARPUR X, WATT F M, LUSCOMBE N M, et al. What is AI? Applications of artificial intelligence to dermatology[J]. *Br J Dermatol*, 2020, 183(3): 423-430.
- [24] ESTEVA A, CHOU K, YEUNG S, et al. Deep learning-enabled medical computer vision[J]. *NPJ Digit Med*, 2021, 4(1): 5.
- [25] LI Z, LIU F, YANG W, et al. A survey of convolutional neural networks: Analysis, applications, and prospects[J]. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst*, 2021, 2021: 1-21.
- [26] HOGARTY D T, SU J C, PHAN K, et al. Artificial intel-

- ligence in dermatology—where we are and the way to the future: A review[J]. *Am J Clin Dermatol*, 2020, 21(1): 41-47.
- [27] PURI P, COMFERE N, DRAGE L A, et al. Deep learning for dermatologists: Part II. Current applications [J]. *J Am Acad Dermatol*, 2020, 123(32): 238-246.
- [28] OLVERES J, GONZALEZ G, TORRES F, et al. What is new in computer vision and artificial intelligence in medical image analysis applications[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2021, 11(8): 3830-3853.
- [29] BRINKER T J, HEKLER A, ENK A H, et al. A convolutional neural network trained with dermoscopic images performed on par with 145 dermatologists in a clinical melanoma image classification task [J]. *Eur J Cancer*, 2019, 111: 148-154.
- [30] DAS K, COCKERELL C J, PATIL A, et al. Machine learning and its application in skin cancer[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2021, 18(24): 234-246.
- [31] BRINKER T J, HEKLER A, ENK A H, et al. Deep learning outperformed 136 of 157 dermatologists in a head-to-head dermoscopic melanoma image classification task[J]. *Eur J Cancer*, 2019, 113: 47-54.
- [32] AIJAZ S F, KHAN S J, AZIM F, et al. Deep learning application for effective classification of different types of psoriasis[J]. *J Healthc Eng*, 2022, 2022: 7541583.
- [33] WU H, YIN H, CHEN H, et al. A deep learning, image based approach for automated diagnosis for inflammatory skin diseases[J]. *Ann Transl Med*, 2020, 8(9): 581.
- [34] KIM Y J, HAN S S, YANG H J, et al. Prospective, comparative evaluation of a deep neural network and dermoscopy in the diagnosis of onychomycosis[J]. *PLoS One*, 2020, 15(6): e0234334.
- [35] KOMEN L, DA GRACA V, WOLKERSTORFER A, et al. Vitiligo area scoring index and vitiligo European task force assessment: Reliable and responsive instruments to measure the degree of depigmentation in vitiligo[J]. *Br J Dermatol*, 2015, 172(2): 437-443.
- [36] M. LOW V H A P R. Automating vitiligo skin lesion segmentation using convolutional neural networks[J]. *ISBI*, 2020, 2020: 1-4.
- [37] YANG S, SHU C, HU H, et al. Dermoscopic image classification of pigmented nevus under deep learning and the correlation with pathological features[J]. *Comput Math Methods Med*, 2022, 2022: 9726181.
- [38] KHATIBI T, REZAEI N, ATAEI FASHTAMI L, et al. Proposing a novel unsupervised stack ensemble of deep and conventional image segmentation (SEDCIS) method for localizing vitiligo lesions in skin images[J]. *Skin Res Technol*, 2021, 27(2): 126-137.
- [39] SHETH V M, RITHE R, PANDYA A G, et al. A pilot study to determine vitiligo target size using a computer-based image analysis program[J]. *J Am Acad Dermatol*, 2015, 73(2): 342-345.
- [40] LI Y, KONG A W, THNG S. Segmenting vitiligo on clinical face images using CNN trained on synthetic and internet images[J]. *IEEE J Biomed Health Inform*, 2021, 25(8): 3082-3093.
- [41] ZHANG L, MISHRA S, ZHANG T, et al. Design and assessment of convolutional neural network based methods for vitiligo diagnosis[J]. *Front Med (Lausanne)*, 2021, 8: 754202.
- [42] GUO L, YANG Y, DING H, et al. A deep learning-based hybrid artificial intelligence model for the detection and severity assessment of vitiligo lesions [J]. *Ann Transl Med*, 2022, 10(10): 590.
- [43] FADZIL M H, NORASHIKIN S, SURAIYA H H, et al. Independent component analysis for assessing therapeutic response in vitiligo skin disorder[J]. *J Med Eng Technol*, 2009, 33(2): 101-109.
- [44] SHAMSUDIN N, HUSSEIN S H, NUGROHO H, et al. Objective assessment of vitiligo with a computerised digital imaging analysis system [J]. *Australas J Dermatol*, 2015, 56(4): 285-289.
- [45] CAZZANIGA S, SASSI F, MERCURI S R, et al. Prediction of clinical response to excimer laser treatment in vitiligo by using neural network models [J]. *Dermatology*, 2009, 219(2): 133-137.
- [46] ERRICETTI E, ZELIN E, PINZANI C, et al. Dermoscopic and clinical response predictor factors in nonsegmental vitiligo treated with narrowband ultraviolet B phototherapy: A prospective observational study [J]. *Dermatol Thera*, 2020, 10: 1089-1098.
- [47] GOMOLIN A, NETCHIPOROUK E, GNIADZECKI R, et al. Artificial intelligence applications in dermatology: Where do we stand? [J]. *Front Med (Lausanne)*, 2020, 7: 100.
- [48] YOUNG A T, XIONG M, PFAU J, et al. Artificial intelligence in dermatology: A primer [J]. *J Invest Dermatol*, 2020, 140(8): 1504-1512.
- [49] CULLELL-DALMAU M, OTERO-VINAS M, MANZO C. Research techniques made simple: Deep learning for the classification of dermatological images [J]. *J Invest Dermatol*, 2020, 140(3): 507-514.
- [50] RING C, COX N, LEE J B. Dermatoscopy [J]. *Clin Dermatol*, 2021, 39(4): 635-642.