

人工智能辅助超声和舌象多组学诊断桥本氏甲状腺炎伴甲状腺功能减退的研究进展

武文军¹, 阮婷², 石晓娇², 杨潇³, 刘纪桃³, 迟冰³, 朴明姬⁴, 崔建春^{5*}

(1. 辽宁中医药大学, 辽宁 沈阳 110847; 2. 辽宁中医药大学附属第四医院 普外科, 辽宁 沈阳 110101; 3. 辽宁中医药大学杏林学院, 辽宁 沈阳 110167; 4. 辽宁中医药大学附属医院 普外科, 辽宁 沈阳 110000; 5. 辽宁省人民医院 乳腺甲状腺外科, 辽宁 沈阳 110013)

摘要:近年来,人工智能(AI)技术在医学领域快速发展,为疾病的精准诊断和管理提供了全新视角。聚焦 AI 在辅助超声和舌象联合诊断桥本氏甲状腺炎伴甲状腺功能减退中的具体应用,分析了其在提升诊断准确性、效率和个性化管理方面的显著意义。通过对现有研究的综述,发现 AI 能够整合多模态数据,捕捉传统方法难以察觉的特征,为早期筛查和治疗提供更全面的决策支持。同时,现有技术在数据标准化、模型泛化和临床验证方面尚存不足。展望未来, AI 在多模态诊断中的深入应用将推动桥本氏甲状腺炎伴甲状腺功能减退的早期干预和精准医疗的发展。

关键词:桥本氏甲状腺炎;甲状腺功能减退;人工智能;超声;舌诊

DOI: 10.11954/ytctyy.202505046

中图分类号: R259 文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1673-2197(2025)05-0250-07



- [27] 卢森华,黎强,樊文研,等. HPLC 特征指纹图谱结合化学计量学评价不同产地消瘤藤的药材质量[J]. 现代中药研究与实践, 2020, 34(6): 52-56.
- [28] 广西壮族自治区中医药研究院. 星毛冠盖藤中香豆素类成分的含量测定方法: CN201710261808. 9[P]. 2020-03-27.
- [29] 黄建猷,胡筱希,谭晓,等. 瑶药消瘤藤的质量标准研究[J]. 中国药房, 2021, 32(21): 2624-2630.
- [30] 王云卿,马国需,赵丹,等. 瑶药星毛冠盖藤正丁醇部位化学成分研究[J]. 中国药学杂志, 2017, 52(18): 1580-1584.
- [31] 黄周锋,陆国寿,卢文杰,等. 星毛冠盖藤脂溶性成分及其抗氧化活性研究[J]. 中医药导报, 2017, 23(15): 51-53.
- [32] 黎强,周颖,卢森华. 响应面法优化消瘤藤总黄酮提取工艺及其抗氧化活性研究[J]. 湖北农业科学, 2023, 62(8): 167-174.
- [33] 胡勇梅. 植物多酚及其衍生物的抗菌活性评价与作用机制研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2023.
- [34] 李泽洋,罗湄,郭松. 瑶药消瘤藤多酚提取工艺优化及其抗菌和抗氧化活性分析[J]. 化学研究与应用, 2022, 34(12): 2927-2934.
- [35] 刘勇成,郭文礼,钟桦,等. 星毛冠盖藤抗肿瘤作用的研究进展[J]. 华夏医学, 2023, 36(3): 158-162.
- [36] 刘瑛,陆国寿,胡筱希,等. 基于网络药理学的消瘤藤总香豆素抗肿瘤潜在机制探讨[J]. 中药药理与临床, 2019, 35(6): 57-63.
- [37] 胡筱希,黄建猷,黄周锋,等. 基于网络药理学探讨消瘤藤治疗子宫肌瘤的作用机制[J]. 中医药导报, 2023, 29(8): 126-131.
- [38] 黎骊,陆国寿,王丽,等. 消瘤藤总香豆素通过诱导铁死亡抑制小细胞肺癌 H1688 细胞增殖[J]. 中国药理学通报, 2023, 39(6): 1115-1121.
- [39] YING L, KUN W, LI L, et al. Total coumarins of pileostegia tomentella induces cell death in SCLC by reprogramming metabolic patterns, possibly through attenuating β -catenin/AMPK/SIRT1 [J]. Chinese Medicine, 2023, 18(1): 1.
- [40] 石雅倩,耿梦丽,李红娜,等. 星毛冠盖藤乙酸乙酯部位抗三阴乳腺癌的研究[J]. 广州化工, 2022, 50(2): 73-76.
- [41] AZAB A, NASSAR A, AZAB A N. Anti-inflammatory activity of natural products[J]. Molecules, 2016, 21(10): 1321.
- [42] BOON G D. An overview of hemostasis[J]. Toxicol Pathol, 1993, 21(2): 170-179.

(编辑:梅雯惠)

收稿日期: 2024-12-05

基金项目: 辽宁省科技厅应用基础研究计划项目(2022020247-JH2/1013); 新疆生产建设兵团第十师北屯市科技局课题(2022-179-03)

作者简介: 武文军(1999-), 男, 辽宁中医药大学硕士研究生, 研究方向为人工智能辅助诊断甲状腺功能减退。

通讯作者: 崔建春(1971-), 男, 辽宁省人民医院主任医师, 教授, 副博士生导师, 研究方向为中西医结合诊疗甲状腺、乳腺疾病。E-mail: cjc7162003@aliyun.com

AI-Assisted Ultrasound and Tongue Image-Based Multi-Omics Diagnostics for Hypothyroidism in Hashimoto's Disease: Research Progress

Wu Wenjun¹, Ruan Ting², Shi Xiaojiao², Yang Xiao³, Liu Jitao³, Chi Bing³, Piao Mingji⁴, Cui Jianchun^{5*}

(1. Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110847, China; 2. Department of General Surgery, The Fourth Hospital Affiliated to Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110101, China; 3. Xinglin College, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110167, China; 4. Department of General Surgery, Hospital Affiliated to Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Shenyang 110000, China; 5. Department of Thyroid Surgery, Liaoning Provincial People's Hospital, Shenyang 110013, China)

Abstract: In recent years, artificial intelligence (AI) technology has rapidly advanced in the medical field, providing new perspectives for precise disease diagnosis and management. This study focuses on the specific application of AI in assisting the combined diagnosis of Hashimoto's thyroiditis with hypothyroidism using ultrasound and tongue image analysis, highlighting its significant role in improving diagnostic accuracy, efficiency, and personalized management. Through a review of existing research, we found that AI can integrate multimodal data and capture features that are difficult to detect using traditional methods, thereby offering more comprehensive decision-making support for early screening and treatment. However, the current technology still faces challenges in data standardization, model generalization, and clinical validation. Looking ahead, the in-depth application of AI in multimodal diagnosis is expected to promote early intervention and precision medicine for Hashimoto's thyroiditis with hypothyroidism.

Keywords: Hashimoto's Thyroiditis; Hypothyroidism; Artificial Intelligence; Ultrasound; Tongue Image Analysis

桥本氏甲状腺炎 (Hashimoto's thyroiditis, HT, 简称桥本病) 是一种特异性自身免疫性疾病^[1], 是原发性甲状腺功能减退症的最主要原因。其特征是自身免疫介导的甲状腺组织被破坏, 引起甲状腺上皮细胞的凋亡, 结局是甲状腺弥漫性淋巴细胞浸润和滤泡被破坏、成纤维细胞增生、钙化和血管增生, 导致甲状腺无痛性肿大和甲状腺功能减退。临床上, HT 主要表现为甲状腺受损引起的全身症状, 并可进一步发展为原发性甲状腺功能减退。

甲状腺功能减退 (Hypothyroidism, 简称甲减) 表现为皮肤干燥、运动迟缓、疲倦、容貌和声音改变、黏液性水肿、体质量增加、畏寒、性欲减退和便秘等典型症状。此外, 患者还可能出现认知功能障碍, 如记忆力下降、注意力不集中、计算困难和反应迟缓^[2]。甲减的最常见原因是碘缺乏和自身免疫性, 在碘充足的地区, 其患病率在 1%~2%, 在 85~89 岁的人群中上升至 7%^[3]。影响甲减的发病率, 除了年龄因素以外, 性别也是一个重要因素, 女性的发病率大约是男性的 10 倍^[4]。

目前, 甲减筛查主要依赖静脉采血检测^[2], 但该方法具有侵入性。随着人工智能 (AI) 在医学中的广泛应用, 新的筛查方式亟待探索, 以提高筛查效率^[5], 实现早期发现与干预。超声与中医舌诊因其无创、低成本的优势, 成为桥本病伴甲减早期筛查的潜在手段, 本文对此进行综述。

1 超声、舌象诊断甲状腺功能减退的原理

超声技术是一种非侵入性医学影像检查, 基于

超声波在不同组织中的反射与回声^[6], 计算机可将其转换为实时图像。相比于传统的 X 线检查, 超声技术无辐射、操作简便、可便携、成本较低, 并且可以实时观察^[7]。超声可广泛应用于检测和诊断各种疾病和病变, 如肿瘤、器官损伤、妊娠等。同时, 随着技术的不断进步, 超声技术的分辨率和图像质量也在不断提高, 使其成为了医学影像诊断领域中不可或缺的重要工具之一。甲状腺超声可以清晰地观察到甲状腺的结构、形态和血流情况。因此甲状腺超声被主要应用于检测结节和肿块, 评估结节性甲状腺疾病, 引导甲状腺穿刺活检, 监测甲状腺功能和疾病进展, 指导甲状腺手术。但也有一些局限性需要综合考虑其他检查方式, 比如超声成像会受组织密度、器官深度和探头位置等因素影响, 导致图像质量下降; 超声无法很好透过气体和骨骼, 某些器官的检查会受限; 检查结果受检查者技术水平的影响; 超声只能观察局部器官, 无法全面反映全身病变^[8]。

中医医师自古以来通过望、闻、问、切四诊合参来诊断疾病, 舌诊是中医辨证的重要内容, 脏腑经络联系于舌, 气血津液充养于舌, 从舌质、舌苔、舌下络脉可以反映出脏腑的状态变化和疾病的性质, 舌质可反映脏腑虚实和气血盛衰, 舌苔可反映病邪性质、深浅和邪正消长^[9]。在现代医学的诊断体系中, 舌象作为中医诊断的一部分, 可以作为辅助手段来帮助诊断各种疾病。虽然舌象不能单独确诊, 但舌诊结合临床症状、体征和其他检查结果, 可以提供额外的信息和线索, 有助于全面评估患者的健康状况。

此外,传统的中医辨证的水平受师承思维、经验模式、诊断技能不同的影响,目前尚无精确或可量化的标准^[10]。由于舌诊具有一定的主观性,缺乏统一的标准方法^[11],不同医师在不同时间对同一舌象的诊断结果可能会存在差异^[12]。

2 AI在甲状腺超声影像诊断、舌诊中的应用与现状

人工智能(Artificial intelligence, AI)由机器学习(Machine learning, ML)和深度学习(Deep learning, DL)组成^[13],其主要应用包括大数据处理、个性化分析和解释,能够识别人类难以察觉的细节,从而提高临床疾病的诊断准确性。它在许多领域产生了极大的影响力,甚至已经追赶上了人类。AI在医学领域方面有很大的潜力来改变传统的医疗模式,医疗的许多方面都可以涉及AI,如AI辅助临床已被用于识别心血管等疾病的风险因素^[14],并预测患者预后;此外,AI还可应用于影像学诊断、组织病理学诊断、患者监测、药物研发以及机器人辅助手术^[15-18],AI强大的学习能力和算法进化正推动医疗系统的革新。

2.1 AI在医学影像领域中的应用

现代医学主要依赖实验室和影像学检查等客观指标进行疾病诊断,目前诊断已达到分子生物学层面^[19];结合现代大数据算法,这些客观指标与影像数据进一步演化出一系列AI辅助诊断方法^[20],促进了图像与临床数据的高通量关联,并逐步融入临床实践。

影像组学是一种基于高通量特征提取和分析的医学影像研究方法,广泛应用于X射线、计算机断层扫描(CT)、超声、磁共振成像(MRI)、正电子发射断层扫描(PET)和乳腺钼靶等成像技术^[21],以发现新的影像生物标志物^[22]。这些生物标志物在放射学中具有广泛应用,并可结合AI技术以提高诊断效率和准确性。影像学检查通常包括数据采集、图像重建、分析和报告。然而,影像解读是一项耗时的工作,医师需反复阅片以做出诊断。由于医师的经验和技术水平存在差异,读片的准确率也可能有所不同。AI辅助医生作为第二决策者可以显著提高读片的准确率,所以目前,“人工智能增强放射科医生”的概念比完全取代放射科医生的理论更受认可。AI通过协助缺血性和出血性中风的准确和快速检测及分类,有可能使颅内出血(ICH)治疗周期变短并促进改善患者预后^[23]。将AI与胸部X射线图像相结合并将这些模型整合到智能手机中,并训练出了准确率为98.6%的模型^[24],可以方便地预测COVID-19。Luca提出了基于计算机的训练系统对脂肪肝的分类

诊断的检测系统,该计算机辅助诊断(CAD)系统实现了97.58%的分类准确率,灵敏度和特异性分别为98.07%和97.2%,成功对脂肪肝进行了检测和分类^[25]。

2.2 现有的AI辅助甲状腺超声诊断技术

近年来多项研究表明,基于深度学习的AI系统在甲状腺结节超声诊断中展现出与资深放射科医师相当的诊断能力。根据已发表的研究数据显示,基于CNN的AI系统诊断性能良好,其敏感度为74%~95%,特异度为65%~94%,准确度为73%~94%,ROC曲线下面积(AUC)为0.78~0.94^[26-33]。特别是对于经验不足的初级医师(工作经验≤4年),在AI辅助下其诊断能力得到显著提升:敏感度从64%~96%提高至87%~96%,准确度从64%~83%提高至75%~87%,AUC从0.67~0.82提升至0.76~0.87^[26-33]。HEL等^[26]研究发现,在AI辅助下初级医师的AUC值(0.867)与资深医师(0.851)和AI系统(0.816)相当。此外,PENG S等^[27]基于18 049张图像训练的ThyNet模型显示,AI辅助后初级医师的诊断表现(敏感度92.4%、特异度80.8%、准确度87.4%)甚至优于未经AI辅助的资深医师(敏感度90.4%、特异度80.6%、准确度86.3%)。AI不仅能提高临床诊断的准确性,还可以减少不必要的细针穿刺活检,将活检率从61.9%降至35.2%,同时漏诊率从18.9%降至17.0%^[27]。这些研究结果表明,AI系统可作为临床实践中的有力辅助工具,尤其适合帮助经验不足的医师提升诊断水平。

AI在辅助超声诊断桥本甲状腺炎(HT)方面已取得初步进展。ZHAO W等^[34]基于卷积神经网络开发了CAD-HT模型,其诊断效能达到89.2%,AUC为0.94。然而,该模型未能将影像数据与血清学标记物结合用于模型训练;张强团队基于深度学习设计了双分支深度学习架构,能够同时处理血清学标志物和超声图像,开发了名为HTNet的诊断模型,对HT的诊断准确率达到83.2%,AUC值达到94.9%^[35]。国内两家顶级医院应用超声诊断桥本病及伴发甲减的研究,使筛查桥本病及伴发甲减的关口前移,为监测该疾病的进展和治疗提供了更大的操作空间。

在临床中,AI的辅助可以显著减少不必要的细针抽吸活检的次数,降低了恶性结节的漏诊率。在甲状腺结节领域,CNN网络通常优于非神经网络算法,但研究结果仍存在不一致性,需进一步探讨。AI辅助可显著提高年轻或经验不足医生的甲状腺结节检出率和诊断准确率,但对经验丰富医生的提升作

用相对有限。综上,在评估和诊断甲状腺结节方面, AI已经能够达到高级医师的水平,对经验不足的年轻医生帮助更大。然而,针对甲状腺炎引发甲减的 AI研究,仍需进一步深入和精细化。

2.3 舌象客观化研究进展

随着计算机和信息技术的发展,中医诊断方法在标准化和计算机化方面取得了显著进展,许多中医学者将面诊、舌诊等数据进行图像处理,并结合机器学习模型进行分析,提升诊断的客观性^[36],从而逐渐从依赖主观经验的传统医学转向循证医学^[37]。中医依赖于长期的经验积累,而在信息化时代,基于标准化的综合特征,将中医的辨证论治和机器学习算法相结合,可以筛选出关键的发病因素^[38],这为中医数据库的创新和中医现代化的发展提供了新机遇。中医舌诊具有简单高效、快捷无创的性质,可以在精准检测之前作为早期检测疾病初步筛查的手段,但是会受主观性的影响。为此,有学者开发了计算机辅助舌象诊断系统,通过参数设置和数学模型,实现了舌象的客观化定性与定量分析,突破了传统舌诊的主观局限^[39]。该系统包括数字舌头图像采集系统和舌头特征处理系统两大模块:采集系统实现自动采集和图像加工处理;特征处理系统通过舌象分类和分割技术识别齿痕、裂纹、白腻苔等特征。研究人员尝试利用图像处理和计算机分析技术对舌象特征进行量化,基于舌苔厚度、舌象区域特征及高光谱分析等方法,发现不同疾病(如乳腺癌^[11]、2型糖尿病^[40]、非酒精性脂肪肝病^[41]、冠心病等^[42])患者的舌象特性存在显著差异,通过构建机器学习模型,可实现80%左右的较高诊断准确率。这些探索不仅验证了舌象特征在疾病筛查和辅助诊断中的潜力,也为智能舌诊技术在中医现代化和多领域疾病诊断中的应用提供了科学依据。

然而,当前舌象采集与分割技术的发展仍面临诸多挑战。一方面,舌诊仪的配置和图像处理方法尚未形成统一的标准,不同设备的图像质量、光照条件、颜色校正等存在显著差异,影响了舌象数据的一致性和可比性;另一方面,大多数客观化研究缺乏平衡性较好的大样本数据,导致算法训练与优化的效果受限^[43]。此外,舌象数据的分类存储、高效利用和全面分析仍处于初级阶段,尚未建立起舌象信息与中医证型之间的系统性对应关系,难以满足临床实践需求^[44]。在实际应用方面,舌诊仪目前主要用于教学和科研,临床上通过舌诊预测疾病的案例较少,技术成熟度和应用范围有限。这既与舌诊标准化不足有关,也与系统在实际疾病预测中的验证不足密

切相关。例如,某些疾病的舌象特征缺乏明确标志,数据积累难以支撑模型的广泛推广^[45]。因此,未来舌象诊断系统的发展需要在以下几个方面加强:完善舌象采集标准,推动设备一致化;构建大规模、高质量的舌象数据库,提升算法的泛化能力;深入挖掘舌象信息与中医证型的关联性,加强系统在临床实践中的验证和推广。

3 AI在超声、舌象诊断中的优势

AI在多模态处理医学图像中有显著的优势,主要体现在识别与分类、数据处理和分析、提升诊断效率、自动化诊断流程以及减少人为误差等方面(如表1)。在AI辅助临床诊断中,应用深度学习(Deep learning)算法,如卷积神经网络(Convolutional neural networks, CNNs),可以自动从超声和舌象图像中提取高维特征,包括甲状腺超声组织密度、纹理以及舌苔的颜色、苔质等信息^[46-47]。这些特征在早期阶段难以通过传统人工观察准确识别,而深度学习能够通过自学获取高级语义信息,通过多层神经网络逐级提取和优化减少对特征选择的依赖,提高了诊断的精度。在数据处理和分析方面, AI利用其强大的数据融合和特征提取能力,能够快速整合超声和舌象的多模态资料,获取疾病不同维度的信息,从而形成全面、精准的病变评估系统并大幅减少人工分析的时间和工作量^[48-50]。经过大量数据训练的AI诊断模型稳定且高效,不仅能够自动筛查,还能给出初步诊断建议,辅助医生快速确认或排除潜在疾病。这种自动化诊断工具将极大减轻医生的负担。

此外, AI的并行计算和自动化技术显著提升了诊断效率,通过卷积神经网络自动化分析超声和舌象数据,加速诊断流程,相比人工读片并诊断书写报告可以缩短时间成本,从而实现精准诊断和治疗的自动化与高效性。传统医疗诊断过程中可能会存在人为误差,这些误差可能来源于医生的疲劳、主观判断以及经验不足等因素。AI模型通过自动化的数据处理流程和算法驱动的客观分析,减少了人为干预,可以确保每次诊断过程的一致性,不受医生状态或情绪的影响;同时还可以减少因医生的主观判断导致的误诊或漏诊。AI技术通过分析大量的病例数据和医学文献,准确性已接近甚至超越了专业医生^[51]。在甲减的诊断中, AI的自动化和高效性表现尤为突出,卷积神经网络利用局部连接与并行计算的优势,可以快速分析大量超声和舌象数据,大幅提高诊断效率^[52]。

表 1 AI 在医学图像识别诊断中的优势及应用实例

AI 诊断优势	算法原理	深层逻辑解释	文献
识别和分类	卷积神经网络 (CNN)、支持向量机 (SVM)、随机森林(Random Forest)	深度学习通过多层神经网络逐层抽取复杂特征,减少对人工特征选择的依赖,提升了微小病变检测的精度,为早期筛查提供更敏感的手段	[53-55]
数据处理和分析	多模态数据融合、特征选择算法(如 LASSO)、PCA(主成分分析)、长短期记忆网络(LSTM)	使用多流卷积神经网络和特征融合技术,将超声和舌象的多维特征统一整合,可以快速而全面地分析病变状况,减轻了人工分析的负担,并且提高了诊断的全面性	[56-57]
提升诊断效率	GPU 加速的深度学习框架(如 TensorFlow、PyTorch)、并行计算算法、批量处理(Batch Processing)和分布式计算技术	卷积神经网络能够利用卷积减少参数量,利用局部连接特性和并行处理能力,使得模型可以在短时间内分析大量超声和舌象图像数据	[58]
自动化诊断流程	自动编码器(Autoencoder)、循环神经网络(RNN)、强化学习(Reinforcement Learning)	自动编码器用于数据降维和特征提取,循环神经网络适用于时间序列数据的自动分析,强化学习在迭代中优化诊断策略,实现自动化的分析和决策。AI 通过大量标注数据训练,优化模型目标函数,建立标准化分析流程,使得诊断过程可重复、稳定,减少了人工干预所需的步骤	[59]
减少人为误差	标准化数据预处理算法、逻辑回归(Logistic Regression)、贝叶斯分类器	机器学习通过优化损失函数[如交叉熵损失(Cross-Entropy Loss)和均方误差(Mean Squared Error, MSE)],减少不同医师之间的判断差异,建立统一诊断标准,确保结果的客观性和一致性,提升了诊断的可信度	[60]

4 挑战与未来展望

尽管 AI 在医学影像诊断领域中表现出色,但提高其泛化性和鲁棒性仍然是一个关键挑战。由于各医院的数据源存在差异,超声和舌象图像的采集条件、设备及质量不尽相同,可能导致模型在新的数据集上的性能不稳定。特别是在面对低质量图像或不完整数据时,如何保证模型在不同场景下的一致性并避免过拟合,是未来研究的重要方向^[61-62]。舌象的智能化诊断研究尚不如现代医学影像诊断成熟,目前主要局限于临床对照试验。尽管少数舌象临床预测模型显示出一定的准确率,但距离实际临床应用仍有差距。原因可能是影像学数据样本清晰、多样且丰富,且数据标准化和自动化分析技术相对成熟,而舌象数据的采集和特征提取仍面临标准化和一致性挑战。此外,AI 模型的“黑箱”特性仍是一大难题。提升其决策透明性和可解释性,以揭示模型的关注区域和决策依据,仍需临床中进行更多验证^[63]。

在精准医疗的背景下,目标是利用 AI 结合中医和现代医学诊断的数据特征,推动诊疗从症状驱动模式向数据驱动模式转变,实现早期干预,并制定个性化的诊疗方案^[64]。AI 在疾病的诊断、构建疾病分型模型和识别潜在病因中发挥重要作用。特别是针对舌象智能化,未来需要开发更好地捕捉舌象特征复杂性的模型,同时优化建模方法和完善舌象指标体系。在对甲减患者多模态数据的分析中,这些改进有望使 AI 精准分类不同类型的患者,探索潜在病因,进而实现早期干预和个性化诊疗,降低全民医疗成本^[65]。

5 结语

现代医学通过精确的甲状腺激素水平检测和影像学评估明确病情、单一的药物治疗(如甲状腺激素替代疗法)在缓解患者的整体症状方面,效果有限,尤其是存在个体差异。中医治疗甲减则擅长整体调理,能够针对个体的体质特征进行个性化干预,在“预防治疗疾病”和改善患者的生活质量方面具有显著优势。如果能够利用中医舌象进行甲减的早期发现和干预,并联合现代医学将此技术应用于临床,将大大提高甲减的筛查水平;如果在此基础上进行甲减的早期治疗和干预,将有可能让众多桥本病患者避免长期服用优甲乐的烦恼。

AI 在诊断桥本病伴甲减中的优势在于超声、舌象和血清甲状腺功能多模态数据的融合。超声可以直观地观察甲状腺结构和回声等局部特征,而舌象可以反映患者整体的体质和代谢状态,这种多模态诊断模式不仅可以提供更全面的诊断参考,而且具有实时性,可以减少单一数据源可能带来的误诊和漏诊。然而,这也意味着需要开发更高效的数据处理和融合算法,以提高模型的可靠性。

参考文献:

- [1] BROWN J, SOLOMON D, BEALL G, et al. Autoimmune thyroid diseases-Graves' and Hashimoto's[J]. Annals of Internal Medicine, 1978, 88(3): 379-391.
- [2] GARBER J R, COBIN R H, GHARIB H, et al. Clinical practice guidelines for hypothyroidism in adults; cosponsored by the American association of clinical endocrinologists and the American thyroid association[J]. Endocrine Practice, 2012, 18(6): 988-1028.
- [3] GUSSEKLOO J, VAN EXEL E, DE CREAN A J, et al. Thyroid

- status, disability and cognitive function, and survival in old age [J]. *The Journal of the American Medical Association*, 2004, 292 (21): 2591-2599.
- [4] TAYLOR P N, ALBRECHT D, SCHOLZ A, et al. Global epidemiology of hyperthyroidism and hypothyroidism [J]. *Nature Reviews Endocrinology*, 2018, 14(5): 301-316.
- [5] MANN D L. Artificial intelligence discusses the role of artificial intelligence in translational medicine: A JACC: basic to translational science interview with ChatGPT [J]. *Journal of the American College of Cardiology: Basic to Translational Science*, 2023, 8 (2): 221-223.
- [6] BRNJAS K J. Physical bases of medical ultrasound [J]. *Lung*, 2009, 400(650): 0-26.
- [7] WALLS W J, GONZALEZ G, MARTIN N L, et al. B-scan ultrasound evaluation of the pancreas: advantages and accuracy compared to other diagnostic techniques [J]. *Radiology*, 1975, 114(1): 127-134.
- [8] 金琳, 胡宝华, 封岚, 等. 超声造影参数预测高强度聚焦超声治疗局限型子宫肌瘤的临床价值 [J]. *医学影像学杂志*, 2021, 31(1): 87-89.
- [9] ZHUANG Q, GAN S, ZHANG L. Human-computer interaction based health diagnostics using ResNet34 for tongue image classification [J]. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2022, 226(Suppl c): 107096.
- [10] WU P, LI J, YAN H, et al. Status and prospect of international standardization of TCM diagnosis [J]. *Pharmacological Research*, 2021, 171: 105746.
- [11] LO L, CHENG T, CHEN Y, et al. TCM tongue diagnosis index of early-stage breast cancer [J]. *Complementary Therapies in Medicine*, 2015, 23(5): 705-713.
- [12] CHU X, SUN B, HUANG Q, et al. Quantitative knowledge presentation models of traditional Chinese medicine (TCM): a review [J]. *Artificial Intelligence in Medicine*, 2020, 103 (Suppl c): 101810.
- [13] SUBHAN S, MALIK J, HAQ A U, et al. Role of artificial intelligence and machine learning in interventional cardiology [J]. *Current Problems in Cardiology*, 2023, 48(7): 101698.
- [14] VENKAT V, ABDELHALIM H, DEGROAT W, et al. Investigating genes associated with heart failure, atrial fibrillation, and other cardiovascular diseases, and predicting disease using machine learning techniques for translational research and precision medicine [J]. *Genomics*, 2023, 115(2): 110584.
- [15] RASHIDI H H, CHEN M. Preface: Artificial intelligence (AI, machine learning ML) and digital pathology integration are the next major chapter in our diagnostic pathology and laboratory medicine arena [J]. *Seminars in Diagnostic Pathology*, 2023, 40 (2): 69-70.
- [16] BHATI D, NEHA F, AMIRUZZAMAN M. A Survey on explainable artificial intelligence (XAI) techniques for visualizing deep learning models in medical imaging [J]. *Journal of Imaging*, 2024, 10(10): 239.
- [17] BOTROS M, DEBOER O J, CARDDENAS B, et al. Deep learning for histopathological assessment of esophageal adenocarcinoma precursor lesions [J]. *Modern Pathology*, 2024, 37 (8): 100531.
- [18] LIN T, WANG C, SHEN C, et al. Clinical outcomes of multivessel coronary artery disease patients revascularized by robot-assisted vs conventional standard coronary artery bypass graft surgeries in real-world practice [J]. *Medicine (Baltimore)*, 2021, 100 (3): e23830.
- [19] PAYNE D A, BALUCHOVA K, PEOC'H K H, et al. Pre-examination factors affecting molecular diagnostic test results and interpretation: a case-based approach [J]. *Clinica Chimica Acta*, 2017, 467: 59-69.
- [20] CHEN A, WANG C, ZHANG X. Reflection on the equitable attribution of responsibility for artificial intelligence-assisted diagnosis and treatment decisions [J]. *Intelligent Medicine*, 2023, 3 (2): 139-143.
- [21] KAVITA P, ALLI D R, RAO A B. Study of image fusion optimization techniques for medical applications [J]. *International Journal of Cognitive Computing in Engineering*, 2022, 3(c): 136-143.
- [22] BOEKEN T, FEYDY J, LECLER A, et al. Artificial intelligence in diagnostic and interventional radiology: where are we now? [J]. *Diagnostic and Interventional Imaging*, 2023, 104(1): 1-5.
- [23] VU M T, ADALI T, BA D, et al. A shared vision for machine learning in neuroscience [J]. *The Journal of Neuroscience*, 2018, 38(7): 1601-1607.
- [24] RANGARAJAN A K, RAMACHANDRAN H K. A preliminary analysis of AI based smartphone application for diagnosis of COVID-19 using chest X-ray images [J]. *Expert Systems with Applications*, 2021, 183(Suppl C): 115401.
- [25] SABA L, DEY N, ASHOUR A S, et al. Automated stratification of liver disease in ultrasound: an online accurate feature classification paradigm [J]. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 2016, 130: 118-134.
- [26] HE L, CHEN F, ZHOU D, et al. A comparison of the performances of artificial intelligence system and radiologists in the ultrasound diagnosis of thyroid nodules [J]. *Current Medical Imaging*, 2022, 18(13): 1369-1377.
- [27] PENG S, LIU Y, LV W, et al. Deep learning-based artificial intelligence model to assist thyroid nodule diagnosis and management: a multicentre diagnostic study [J]. *The Lancet Digital Health*, 2021, 3(4): e250-e259.
- [28] BUDA M, WILDMAB-TOBRINER B, HOANG J K, et al. Management of thyroid nodules seen on US images: deep learning may match performance of radiologists [J]. *Radiology*, 2019, 292(3): 695-701.
- [29] WEI Q, ZENG S, WANG L, et al. The value of S-Detect in improving the diagnostic performance of radiologists for the differential diagnosis of thyroid nodules [J]. *Medical Ultrasonography*, 2020, 22(4): 415-423.
- [30] BARCZYNSKI M, STOPA-BARCZYNSKA M, WOJTCZAK B, et al. Clinical validation of S-Detect™ mode in semi-automated ultrasound classification of thyroid lesions in surgical office [J]. *Gland Surgery*, 2020, 9(Suppl 2): S77.
- [31] SONG J, CHAI Y, MASUOKA H, et al. Ultrasound image analysis using deep learning algorithm for the diagnosis of thyroid nodules [J]. *Medicine*, 2019, 98(15): e15133.
- [32] ZHU Y, JIN P, BAO J, et al. Thyroid ultrasound image classification using a convolutional neural network [J]. *Annals of Translational Medicine*, 2021, 9(20): 1526.
- [33] WEI X, GAO M, YU R, et al. Ensemble deep learning model for multicenter classification of thyroid nodules on ultrasound ima-

- ges[J]. Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research, 2020, 26: e926096.
- [34] ZHAO W, KANG Q, QIAN F, et al. Convolutional neural network-based computer-assisted diagnosis of hashimoto's thyroiditis on ultrasound[J]. The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism, 2022, 107(4): 953-963.
- [35] ZHANG Q, ZHANG S, PAN Y, et al. Deep learning to diagnose Hashimoto's thyroiditis from sonographic images[J]. Nature Communications, 2022, 13(1): 3759.
- [36] ALI N, TRETIAKOV A, WHIDDETT D, et al. Knowledge management systems success in healthcare: leadership matters[J]. International Journal of Medical Informatics, 2017, 97(1): 331-340.
- [37] HU Q, YU T, LI J, et al. End-to-End syndrome differentiation of Yin deficiency and Yang deficiency in traditional Chinese medicine[J]. Computer Methods and Programs in Biomedicine, 2019, 174: 9-15.
- [38] XING W, LI G, HE C, et al. Automatic detection of A-line in lung ultrasound images using deep learning and image processing[J]. Medical Physics, 2023, 50(1): 330-343.
- [39] TANIA M H, LWIN K, HOSSAIN M A. Advances in automated tongue diagnosis techniques[J]. Integrative Medicine Research, 2019, 8(1): 42-56.
- [40] HSU P C, WU H K, HUANG Y C, et al. The tongue features associated with type 2 diabetes mellitus[J]. Medicine (Baltimore), 2019, 98(19): e15567.
- [41] JIANG T, GUO X, TU L, et al. Application of computer tongue image analysis technology in the diagnosis of NAFLD[J]. Computers in Biology and Medicine, 2021, 135(Suppl C): 104622.
- [42] 赵静, 马贝, 刘明, 等. 舌体高光谱的高血压患者中合并冠心病的筛查方法[J]. 光谱学与光谱分析, 2022, 42(2): 512-516.
- [43] BHATNAGAR V, BANSOD P P. Challenges and solutions in automated tongue diagnosis techniques: a review[J]. Critical Reviews in Biomedical Engineering, 2022, 50(1): 47-63.
- [44] FENG L, XIAO W, WEN C, et al. Objectification of tongue diagnosis in traditional medicine, data analysis, and study application[J]. Jove-Journal of Visualized Experiments, 2023, 2023(194): e65140.
- [45] MATOS L C, MACHADO J P, MONTEIRO F J, et al. Can traditional Chinese medicine diagnosis be parameterized and standardized? a narrative review[J]. Healthcare (Basel), 2021, 9(2): e65140.
- [46] CAO C, LI Q, TONG J, et al. Artificial intelligence in thyroid ultrasound[J]. Frontiers in Oncology, 2023(13): 1060702.
- [47] WANG X, LIU J, WU C, et al. Artificial intelligence in tongue diagnosis: using deep convolutional neural network for recognizing unhealthy tongue with tooth-mark[J]. Computational and Structural Biotechnology Journal, 2020(18): 973-980.
- [48] LIU Q, LI Y, YANG P, et al. A survey of artificial intelligence in tongue image for disease diagnosis and syndrome differentiation[J]. Digital Health, 2023, 9: 20552076231191044.
- [49] QIAO Y, ZHAO L, LUO C, et al. Multi-modality artificial intelligence in digital pathology[J]. Briefings in Bioinformatics, 2022, 23(6): bbac367.
- [50] SHEN Y, CHEN L, YUE W, et al. Artificial intelligence in ultrasound[J]. European Journal of Radiology, 2021, 139: 109717.
- [51] XUE Y, ZHOU Y, WANG T, et al. Accuracy of ultrasound diagnosis of thyroid nodules based on artificial intelligence-assisted diagnostic technology: a systematic review and meta-analysis[J]. International Journal of Endocrinology, 2022, 2022(1): 9492056.
- [52] LEE S E, KIM H J, JUNG H K, et al. Improving the diagnostic performance of inexperienced readers for thyroid nodules through digital self-learning and artificial intelligence assistance[J]. Frontiers in Endocrinology, 2024, 15: 1372397.
- [53] JIA D Y, LI Z, ZHANG C. Detection of cervical cancer cells based on strong feature CNN-SVM network[J]. Neurocomputing, 2020, 411: 112-127.
- [54] RAGAB D A, SHARKAS M A, MARSHALL S, et al. Breast cancer detection using deep convolutional neural networks and support vector machines[J]. Peer J, 2019, 7(1): e6201.
- [55] LI J, ZHANG Z, ZHU X, et al. Automatic classification framework of tongue feature based on convolutional neural networks[J]. Micromachines, 2022, 13(4): 501.
- [56] ZHOU T, THUNG K, ZHU X, et al. Effective feature learning and fusion of multimodality data using stage-wise deep neural network for dementia diagnosis[J]. Human Brain Mapping, 2018, 40(3): 1001-1016.
- [57] XU X, TAO Z, MING W, et al. Intelligent monitoring and diagnostics using a novel integrated model based on deep learning and multi-sensor feature fusion[J]. Measurement, 2020, 165: 108086.
- [58] ZHU J, ZHANG S, YU R, et al. An efficient deep convolutional neural network model for visual localization and automatic diagnosis of thyroid nodules on ultrasound images[J]. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery, 2020, 11(4): 1368-1380.
- [59] FENG L, HUANG Z, ZHONG Y, et al. Research and application of tongue and face diagnosis based on deep learning[J]. Digital Health, 2022, 8: 20552076221124436.
- [60] BERDALY A, ABDIAKHMETOVA Z. Predicting heart disease using machine learning algorithms[J]. Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science, 2022, 115(3): 101-111.
- [61] AUBREVILLE M. Developing robust AI applications for clinical use: the special case of pathology[J]. Annual Edition, 2024, 3(1): 20-22.
- [62] CHUAH J, YAN P, WANG G, et al. Towards the generation of medical imaging classifiers robust to common perturbations[J]. BioMedInformatics, 2024, 4(2): 889-910.
- [63] LUONG T M, HO N T, HWU Y M, et al. Beyond black-box models: explainable AI for embryo ploidy prediction and patient-centric consultation[J]. Journal of Assisted Reproduction and Genetics, 2024, 41(9): 2349-2358.
- [64] JOHNSON K B, WEI W Q, WEERATNE D, et al. Precision medicine, AI, and the future of personalized health care[J]. Clinical and Translational Science, 2020, 14(1): 86-93.
- [65] AHMED Z, MOHAMED K M, ZEESHAN S, et al. Artificial intelligence with multi-functional machine learning platform development for better healthcare and precision medicine[J]. Database: The Journal of Biological Databases and Curation, 2020, 2020(1): baaa010.

(编辑:梅雯惠)