

· 综述 ·

甲状腺相关性眼病的分子影像诊疗评估进展

杨雪倩¹ 陈永辉¹ 李恩慧² 邢海群¹ 石希敏¹ 霍力¹

¹中国医学科学院、北京协和医学院北京协和医院核医学科,核医学分子靶向药物研发与转化应用北京市重点实验室,疑难重症及罕见病国家重点实验室,罕见病研究中心,北京 100730;²北京联影智能影像技术研究院,北京 100094

通信作者:霍力, Email: huoli@pumch.cn

【摘要】 甲状腺相关性眼病(TAO)是甲状腺疾病最常见的甲状腺外周并发症,核心症状包括眼睑退缩、突眼、复视及视神经受压。TAO 的诊断及评估通常依赖临床评分、实验室检测与影像学检查。近年来,分子影像学在评估炎症反应活动程度、助力疾病分层与疗效预判方面显示出独特价值,其中 PET/MR 成像或将成为 TAO 治疗评估的重要辅助手段。该文主要综述分子影像学在 TAO 诊疗中的应用,并展望未来发展方向。

【关键词】 Graves 眼病;正电子发射断层显像术;体层摄影术,发射型计算机,单光子;体层摄影术,X 线计算机;磁共振成像;发展趋势

基金项目:国家自然科学基金(U24A20758);国家重点研发计划(2024YFC2419400);北京市自然科学基金(L242062)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20251107-00393

Current status and advances in molecular imaging for the diagnosis and evaluation of thyroid-associated ophthalmopathyYang Xueqian¹, Chen Yonghui¹, Li Enhui², Xing Haiqun¹, Shi Ximin¹, Huo Li¹

¹Department of Nuclear Medicine, Beijing Key Laboratory of Targeted Radiopharmaceutical Development and Translational Nuclear Medicine; State Key Laboratory of Complex, Severe, and Rare Diseases; Center for Rare Diseases Research; Peking Union Medical College Hospital, Chinese Academy of Medical Science and Peking Union Medical College, Beijing 100730, China; ²Beijing United Imaging Research Institute of Intelligent Imaging, Beijing 100094, China

Corresponding author: Huo Li, Email: huoli@pumch.cn

【Abstract】 Thyroid-associated ophthalmopathy (TAO) is the most common extra-thyroidal manifestation of thyroid disorders, characterized by eyelid retraction, proptosis, diplopia, and compressive optic neuropathy. The diagnostic assessment of TAO depends on clinical scoring, laboratory tests, and multimodal imaging modalities. In recent years, molecular imaging has demonstrated distinct advantages in assessing inflammatory activity, facilitating disease stratification, and predicting treatment outcomes. Among these modalities, PET/MR imaging holds promise as an important auxiliary tool for therapeutic evaluation in TAO. This review mainly summarizes recent advances in the application of molecular imaging in the diagnosis and treatment of TAO, and discusses future directions in this field.

【Key words】 Graves ophthalmopathy; Positron-emission tomography; Tomography, emission-computed, single-photon; Tomography, X-ray computed; Magnetic resonance imaging; Trends

Fund program: National Natural Science Foundation of China (U24A20758); National Key R&D Program of China (2024YFC2419400); Beijing Natural Science Foundation (L242062)

DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20251107-00393

甲状腺相关性眼病(thyroid-associated ophthalmopathy, TAO)是一种常见的自身免疫性甲状腺外周并发症,主要表现为眼睑退缩、突眼、复视及视神经受压,可造成视功能损伤,并影响患者生活质量。TAO 的诊断与分层依赖多维度评估:临床层面涵盖临床活动评分(clinical activity score, CAS)和疾病分级量表;实验室层面以免疫学指标为核心;影像学层面包括 CT/MRI 及多模态分子影像技术。其中,SPECT/CT/PET/CT 能够量化炎症反应代谢活动并预测疗效,PET/MR 则借助整合功能显像与高分辨软组织成像,实现对复杂病例及疗效随访的一体化评估。在治疗层面,静脉注射糖皮

质激素仍是活动期的一线方案,但其对突眼和复视的改善有限;以替妥木单抗(简称单抗)为代表的靶向治疗在改善突眼、降低疾病活动度及提升生活质量方面表现突出;而在静止期,分期手术和支持治疗也发挥着重要作用。本文主要阐述 TAO 的发病机制及临床常用检查方法,重点探讨分子影像学在 TAO 诊疗中的应用价值,并对 TAO 诊疗策略及未来研究方向进行展望。

一、TAO 的发病机制

促甲状腺激素受体(thyroid stimulating hormone receptor, TSHR)是格雷夫斯病(Graves disease, GD)和 TAO 发病的核

心自身抗原,在眼眶脂肪及结缔组织中表达,活动期眼眶组织中表达水平更高。TSHR 激活可促进眼眶成纤维细胞增殖、透明质酸合成及炎症反应因子释放,其抗体滴度与疾病活动度和严重程度呈正相关^[1]。胰岛素样生长因子 1 受体 (insulin-like growth factor-1 receptor, IGF-1R) 在 TAO 患者眼眶成纤维细胞中同样高表达,并与 TSHR 形成协同信号通路,显著增强透明质酸分泌^[2]。免疫细胞浸润是 TAO 核心病理特征,眼眶组织中混合的 B 细胞、T 细胞及其他炎性细胞通过促进炎症因子释放,激活眼眶成纤维细胞并推动组织重塑。炎症因子如白细胞介素 6 (interleukin-6, IL-6) 在此过程中发挥关键作用,其水平与临床活动度相关,可作为炎症反应活动标志物。此外,外周血中 T 细胞亚群变化也与临床表现及治疗反应相关^[3-4]。除上述免疫机制外,吸烟、表观遗传及肠道微生物组等因素均与 TAO 相关^[3]。上述免疫机制中的关键分子靶点,为靶向治疗及分子影像探针的开发提供了重要的理论基础。

二、TAO 的常用检查方法

TAO 的常用检查方法主要包括临床评分、实验室检测及影像学检查。

1. 临床评分。采用 CAS 评估 TAO 炎症反应活动度,并预测免疫抑制治疗效果^[5]。首诊采用 7 项指标 (自发性眼球后疼痛、眼球运动时疼痛、眼睑充血、眼睑水肿、结膜充血、结膜水肿、泪阜肿胀),随访时可扩展至 10 项,增加眼球突出、运动受限及视力下降。甲状腺相关眼征分级 (no signs or symptoms, only signs, soft tissue involvement, proptosis, extraocular muscle involvement, corneal involvement, and sight loss, NOSPECS) 涵盖无体征或症状、仅体征、软组织受累、眼球突出、眼外肌受累、角膜受累、视力丧失 7 级,反映疾病严重程度和总体负荷,常用于疾病分期、手术决策和预后评估^[5]。欧洲甲状腺眼病协作组 (European Group on Graves Orbitopathy, EUGOGO) 依据病情轻重和视功能受威胁程度,将 TAO 分为轻度、中重度及视威胁期,是目前最常用的临床治疗路径分层体系^[6]。患者自填问卷包括格雷夫斯眼病 (Graves ophthalmopathy, GO) 生活质量 (quality of life, QOL) 问卷与 TAO-QOL 问卷,前者包含对视功能的影响和外貌改变对心理社会功能的影响,后者为简化版,仅包含一般生活质量、日常活动及自我形象^[7]。综上, CAS 反映疾病活动性, NOSPECS 衡量严重程度, EUGOGO 提供病情分层, QOL 问卷则从患者视角评估治疗获益,多种评分体系联合应用有助于实现全面评估。

2. 实验室检测。应检测甲状腺功能及甲状腺相关抗体,包括游离甲状腺素、促甲状腺激素、游离三碘甲状腺原氨酸、总三碘甲状腺原氨酸、总甲状腺素、TSHR 抗体及甲状腺过氧化物酶抗体^[5]。

3. 影像学检查。影像学检查在 TAO 的诊断、活动性分层、并发症识别及手术规划中不可或缺。常用光学相干断层成像 (optical coherence tomography, OCT)/OCT 血管造影 (OCT angiography, OCTA)、超声检查、CT、MRI 等方法,上述方法各具优势,可联合使用实现全面评估。OCT/OCTA 可无创、定量评估视神经纤维层、节细胞复合体、视盘及其周围毛细血管密度,有助于早期识别甲状腺相关视神经病变 (dyst-

hyroid optic neuropathy, DON) 患者的结构及微循环改变,但无法直接显示眶腔深部结构^[8]。床旁超声 (含彩色多普勒) 在疾病活动阶段多呈现眼外肌增厚且血流参数升高,能实时检测眼外肌厚度与血流情况,部分超声指标与 CAS、病情严重程度存在关联,但分辨率有限^[9]。在呈现眶骨结构、判断眶尖拥挤程度及手术规划上,CT 具有明显优势,眶尖拥挤指数、Barrett 指数及肌肉脂肪体积测量多用于评估 DON 风险,并辅助眼眶减压手术,其缺点在于软组织分辨对比度欠佳及电离辐射影响^[10]。

MRI 具有优异的软组织分辨能力和多参数成像技术,可辨别炎症反应性水肿与慢性纤维化,能够清晰呈现泪腺、视神经及眶尖软组织的受压状态,适用于疗效评估与随访^[11]。TAO 活动期泪腺或眼外肌在脂肪抑制 T₂ 序列表现为高信号且增厚,静止期信号多恢复正常但形态改变可能持续,表观弥散系数 (apparent diffusion coefficient, ADC)、T₂ mapping、弥散峰度成像 (diffusion kurtosis imaging, DKI) 及 Dixon 脂肪分数等定量参数可辅助客观评估炎症反应活动性,并预测治疗效果^[12-15]。不典型或重症病例优先选择增强 CT 或 MRI,必要时结合核医学检查补充相关功能代谢信息,核医学检查的临床应用价值于下文介绍。

三、分子影像学在 TAO 中的应用

临床 TAO 的治疗以控制炎症反应、减轻症状、防范并发症和提升患者生活质量为目标,治疗策略依据疾病分期与严重程度拟定,从药物治疗逐步过渡至手术干预,并辅以支持治疗。活动期优先选用药物控制,必要时联合放射治疗。糖皮质激素 (静脉注射甲泼尼龙) 多作为一线基础治疗,免疫抑制剂 (霉酚酸酯、西罗莫司) 和靶向生物制剂 (替妥木单抗、利妥昔单抗、托珠单抗、巴托利单抗、林西替尼) 多作为中重度 TAO 的二线治疗^[16-20]。静止期则以手术修复为主并辅以支持治疗^[21]。TAO 手术方式主要包含眼眶减压术、斜视矫正术与眼睑手术,不同手术适用于 TAO 不同的病情进展情况,若出现 DON 或角膜溃疡且药物治疗无效的情况,需及时手术;通常手术需在甲状腺功能稳定、TAO 进入静止期且维持稳定状态至少 6 个月后实施^[22]。

近年来,分子影像技术逐渐用于 TAO 活动性分层、疗效预测及并发症识别,成为重要的辅助诊断检查。分子影像技术可在眼眶结构或功能异常出现前发现炎症反应活动状态,适用于临床与血清学结果不符且病程复杂或难治性 TAO 患者。其有效预测不仅能够降低复视新发或加重、出血及感觉神经损伤等风险,还可早期识别炎症反应,从而指导临床干预,防止疾病进展至需手术的阶段。SPECT/CT 在功能代谢活动定量和疗效预测方面证据最为丰富, PET/CT 在炎症反应检测和精准分型上表现突出, PET/MR 则适合复杂病例的评估及随访。

1. SPECT/CT 显像。SPECT/CT 在 TAO 活动性评估中发挥着关键作用。^{99m}Tc^m-二乙撑三胺五乙酸 (diethylene triamine pentaacetic acid, DTPA) 显像可同时提供结构与功能信息:活动期眼外肌 SUV_{max} 与摄取率 (uptake rate, UR) 明显升高,其中 SUV_{max} 校正值可用于量化炎症反应活动程度,诊断效能优于 UR,并可作为糖皮质激素治疗反应的独立预测因子^[23-24]。泪腺 SPECT 显像显示,活动期患者泪腺体积增大

且 UR 上升,与 TSHR 抗体水平呈正相关^[25]。基于深度学习的自动眼外肌分割模型结合 SPECT/CT 图像对疾病活动性进行分类,灵敏度和特异度均超过 80%,多中心数据的影像组学模型也表现出良好的鉴别能力^[26-27]。综上,SPECT/CT 不仅有助于 TAO 诊断,还可用于疗效预测与预后评估,与临床和血清学指标联合应用能进一步提升诊断准确性。

2. PET/CT 显像。PET/CT 因其整合功能代谢定量与解剖结构信息在 TAO 评估中具有独特优势。¹⁸F-FDG PET/CT 能精准反映眼眶炎性反应活性,尤其在临床和血清学指标不一致时具有补充意义^[28]。除¹⁸F-FDG 外,多种新型分子探针进一步扩大了适用场景。⁶⁸Ga-1,4,7,10-四氮杂环十二烷-1,4,7,10-四乙酸-D-苯丙氨酸 1-酪氨酸 3-苏氨酸 8-奥曲肽(1,4,7,10-tetraazacyclododecane-1,4,7,10-tetraacetic acid-D-Phe1-Tyr3-Thr8-octreotide, DOTATATE)通过靶向炎性细胞表面生长抑素受体评估眼外肌炎性反应,其结果与 SPECT 和 MRI 高度一致,AUC 在 0.9 以上^[29]。Al¹⁸F-1,4,7-三氮杂环壬烷-1,4,7-三乙酸(1,4,7-triazacyclononane-1,4,7-triacetic acid, NOTA)-成纤维细胞激活蛋白抑制剂(fibroblast activation protein inhibitor, FAPI)-04 可清晰呈现活动期眼外肌弥漫性高摄取,其 SUV_{max} 与病理纤维炎性反应评分相关,以 SUV_{max} 5.95 为临界值时 AUC 可达 0.98,灵敏度与特异度均为 100%^[30]。⁸⁹Zr-利妥昔单抗显像能直观呈现 B 细胞介导的眼眶部位炎性反应,可用于与其他眼眶疾病相鉴别,并助力预测利妥昔单抗治疗反应^[31]。上述研究显示,PET/CT 不仅在 TAO 的功能代谢活动性评估方面表现出色,还为靶向治疗应答预测和个体化治疗提供了新的可能。

3. PET/MR 成像。PET/MR 融合了 MRI 的高分辨软组织对比与 PET 的功能代谢定量优势,实现了对眼眶结构和代谢活动的同步评估。研究显示,¹⁸F-FDG PET/MR 的病灶糖酵解总量和代谢靶体积与 NOSPECS 等严重度评分相关,可作为 TAO 严重度分层的指标^[32]。1 例甲状腺癌术后合并 TAO 患者的⁶⁸Ga-FAPI PET/MR 成像表明,其在 TAO 活动性监测和甲状腺癌术后随访中具有双重价值,可为临床综合管理提供支持^[33]。尽管 PET/MR 仍面临可及性受限和定量标准未统一等问题,新技术和新探针的发展使其有可能成为 TAO 辅助诊断的重要工具。

四、总结与展望

目前,TAO 的管理已经从单纯糖皮质激素治疗转向兼顾活动度与严重度双重评估的综合诊疗策略。常规临床及影像评估能够助力预测疾病进展和治疗应答,而整合影像学检查与患者主观反馈能更精准地开展分层治疗和预后判断。PET/CT、PET/MR 等多模态分子影像技术除了能够清晰呈现解剖结构与功能异常,还为区分疾病活动与静止阶段、监测疗效及规划手术方案提供了量化依据。在治疗层面,靶向生物制剂的使用大幅改善了患者眼球突出症状和生活质量,为激素治疗无效或病情反复的病例提供了新的研究思路与治疗策略。尽管 IGF-1R 靶向治疗在部分重度 TAO 患者中显示出良好疗效,但其是否能够取代传统糖皮质激素仍需进一步研究;而对于病情静止期患者而言,外科手术及支持治疗仍具有重要意义。

未来研究可聚焦以下方向:开展头对头的不同治疗方案

试验,构建靶向药物联合治疗策略,明确各类患者群体的最优选择;制定统一的关键影像学生物标志物分析规范,如验证不同 PET 探针在 TAO 炎性反应评估中的适用性并确定阈值以指导个体化用药;融合患者报告结局与客观结构功能指标,搭建复合终点评估体系;评估 PET/MR 在临床推广的可行性,包括可及性、成本效益及定量标准统一问题;在真实临床场景下验证新型治疗策略的长期效益与成本效果;依托人工智能和影像组学,开发风险预测与疗效评估模型,推动 TAO 诊疗朝着更精准规范的方向迈进。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

作者贡献声明 杨雪倩:文献调研、论文撰写;陈永辉、李恩慧:论文指导;邢海群、石希敏:论文修改;霍力:研究指导、论文审阅与修改

参 考 文 献

- [1] Wiersinga WM, Eckstein AK, Žarković M. Thyroid eye disease (Graves' orbitopathy): clinical presentation, epidemiology, pathogenesis, and management[J]. *Lancet Diabetes Endocrinol*, 2025, 13(7): 600-614. DOI:10.1016/S2213-8587(25)00066-X.
- [2] Smith TJ. Controversies surrounding IGF-I receptor involvement in thyroid-associated ophthalmopathy[J]. *Thyroid*, 2025, 35(3): 232-244. DOI:10.1089/thy.2024.0606.
- [3] Rotondo Dottore G, Torregrossa L, Caturegli P, et al. Association of T and B cells infiltrating orbital tissues with clinical features of Graves orbitopathy[J]. *JAMA Ophthalmol*, 2018, 136(6): 613-619. DOI:10.1001/jamaophthalmol.2018.0806.
- [4] Li H, Wang B, Li Q, et al. T cell subsets are associated with clinical activity and efficacy of 4.5g intravenous glucocorticoid for moderate-to-severe thyroid-associated ophthalmopathy[J]. *Endocr Res*, 2023, 48(2-3): 55-67. DOI:10.1080/07435800.2023.2219734.
- [5] 中华医学会眼科学分会眼整形眼眶病学组,中华医学会内分泌学分会甲状腺学组.中国甲状腺相关眼病诊断和治疗指南(2022 年)[J]. *中华眼科杂志*, 2022, 58(9): 646-668. DOI:10.3760/cma.j.cn112142-20220421-00201. Oculoplastic and Orbital Disease Group of Chinese Ophthalmological Society of Chinese Medical Association, Thyroid Group of Chinese Society of Endocrinology of Chinese Medical Association. Chinese guideline on the diagnosis and treatment of thyroid-associated ophthalmopathy (2022)[J]. *Chin J Ophthalmol*, 2022, 58(9): 646-668. DOI:10.3760/cma.j.cn112142-20220421-00201.
- [6] Bartalena L, Gallo D, Kahaly GJ, et al. Comparison of the 2021 EUGOGO guidelines and the 2022 ATA/ETA consensus statement for the management of Graves' orbitopathy[J]. *Eur Thyroid J*, 2025, 14(6): e250318. DOI:10.1530/ETJ-25-0318.
- [7] Uslar V, Becker C, Weyhe D, et al. Thyroid disease-specific quality of life questionnaires—a systematic review[J]. *Endocrinol Diabetes Metab*, 2022, 5(5): e357. DOI:10.1002/edm2.357.
- [8] Yang N, Zhu H, Ma J, et al. OCT and OCTA in dysthyroid optic neuropathy: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ Open Ophthalmol*, 2023, 8(1): e001379. DOI: 10.1136/bmjophth-2023-001379.
- [9] Walasik-Szemplińska D, Pauk-Domańska M, Sanocka U, et al. Doppler imaging of orbital vessels in the assessment of the activity and severity of thyroid-associated orbitopathy[J]. *J Ultrason*, 2015, 15(63): 388-397. DOI:10.15557/JoU.2015.0036.
- [10] Berger M, Matlach J, Pitz S, et al. Imaging of the medial rectus muscle predicts the development of optic neuropathy in thyroid eye

- disease[J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 6259. DOI:10.1038/s41598-022-10043-z.
- [11] Xu Z, Xue Z, Lyu Z. Advancements in imaging research in thyroid-associated ophthalmopathy [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2025, 16: 1601556. DOI:10.3389/fendo.2025.1601556.
- [12] Pu XY, Chen L, Hu H, et al. Dixon MRI-based quantitative parameters of extraocular muscles, intraorbital fat, and lacrimal glands for staging thyroid-associated ophthalmopathy[J]. *Insights Imaging*, 2024, 15(1): 136. DOI:10.1186/s13244-024-01693-w.
- [13] Cai M, Yang J, Li X, et al. MRI-based SIR quantitative biomarkers: a novel imaging diagnostic strategy for thyroid eye disease activity staging [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2025, 16: 1650116. DOI:10.3389/fendo.2025.1650116.
- [14] Hu H, Zhou J, Jiang WH, et al. Diagnosis of dysthyroid optic neuropathy: combined value of orbital MRI and intracranial visual pathway diffusion kurtosis imaging [J]. *Eur Radiol*, 2024, 34(8): 5401-5411. DOI:10.1007/s00330-024-10615-9.
- [15] Gou X, Cheng J, Li T, et al. Research progress and clinical utility of multi-parameter orbital MRI in thyroid-associated ophthalmopathy [J]. *Eur J Radiol*, 2026, 195: 112644. DOI: 10.1016/j.ejrad.2025.112644.
- [16] Huang W, Ou X, Lin S, et al. Efficacy and safety of teprotumumab in thyroid eye disease: a systematic review and meta-analysis [J]. *Endocr Pract*, 2025, 31(5): 640-649. DOI: 10.1016/j.eprac.2025.01.012.
- [17] Burch HB, Perros P, Bednarczuk T, et al. Management of thyroid eye disease: a consensus statement by the American Thyroid Association and the European Thyroid Association[J]. *Thyroid*, 2022, 32(12): 1439-1470. DOI:10.1089/thy.2022.0251.
- [18] Wolf J, Krämer I, Kahaly GJ. Safety and tolerability of anti-FcRn monoclonal antibody in thyroid autoimmunity[J]. *Explor Immunol*, 2024, 4: 341-357. DOI:10.37349/ei.2024.00145.
- [19] Lee JY, Lee SB, Yang SW, et al. Linsitinib inhibits IGF-1-induced cell proliferation and hyaluronic acid secretion by suppressing PI3K/Akt and ERK pathway in orbital fibroblasts from patients with thyroid-associated ophthalmopathy [J]. *PLoS One*, 2024, 19(12): e0311093. DOI:10.1371/journal.pone.0311093.
- [20] Lanzolla G, Maglionico MN, Comi S, et al. Sirolimus as a second-line treatment for Graves' orbitopathy [J]. *J Endocrinol Invest*, 2022, 45(11): 2171-2180. DOI:10.1007/s40618-022-01862-y.
- [21] 柳宇, 李梦婷, 陈宏, 等. 甲状腺相关性眼病活动性和疗效的影像学评估[J]. *中华核医学与分子影像杂志*, 2024, 44(10): 628-632. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230912-00046.
- Liu Y, Li MT, Chen H, et al. Imaging assessment of the activity and treatment efficacy of thyroid associated ophthalmopathy [J]. *Chin J Nucl Med Mol Imaging*, 2024, 44(10): 628-632. DOI:10.3760/cma.j.cn321828-20230912-00046.
- [22] Scarabosio A, Surico PL, Singh RB, et al. Thyroid eye disease: advancements in orbital and ocular pathology management [J]. *J Pers Med*, 2024, 14(7): 776. DOI:10.3390/jpm14070776.
- [23] Sun J, Ma L, Wang M, et al. Assessment of thyroid-associated ophthalmopathy activity using corrected standardised uptake value maximum (SUV_{max}) and uptake ratios from ⁹⁹Tc^m-diethylene triamine pentaacetic acid single photon emission computed tomography/computed tomography (⁹⁹Tc^m-DTPA SPECT/CT) imaging [J]. *Clin Radiol*, 2025, 86: 106946. DOI:10.1016/j.crad.2025.106946.
- [24] Su L, Mi P, Niu W, et al. Evaluation of ⁹⁹Tc^m-DTPA orbit SPECT/CT combined with thyroid function test in the treatment of radioactive iodine I-131 in patients with thyroid-associated ophthalmopathy-hyperthyroidism [J]. *J Med Biochem*, 2024, 43(6): 897-907. DOI:10.5937/jomb0-48734.
- [25] Zhao RX, Shi TT, Luo S, et al. The value of SPECT/CT imaging of lacrimal glands as a means of assessing the activity of Graves' orbitopathy [J]. *Endocr Connect*, 2022, 11(2): e210590. DOI:10.1530/EC-21-0590.
- [26] Liu Y, Li M, Chen H, et al. Diagnostic precision in thyroid-associated ophthalmopathy using multi-center radiomics with ^{99m}Tc-DTPA SPECT/CT [J]. *Sci Rep*, 2024, 14(1): 25810. DOI:10.1038/s41598-024-76018-4.
- [27] Yao N, Li L, Gao Z, et al. Deep learning-based diagnosis of disease activity in patients with Graves' orbitopathy using orbital SPECT/CT [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2023, 50(12): 3666-3674. DOI:10.1007/s00259-023-06312-2.
- [28] Ochmann A, Winder M, Nalewajka-Kolodziejczak J, et al. Current imaging methods for assessing Graves' orbitopathy activity with particular emphasis on FDG-PET [J]. *Front Endocrinol (Lausanne)*, 2023, 14: 1138569. DOI:10.3389/fendo.2023.1138569.
- [29] Hu Z, Liu J, Deng H, et al. Evaluation of inflammatory activity of extraocular muscles in thyroid associated orbitopathy by [⁶⁸Ga] DOTATATE PET/CT [J]. *Mol Imaging Biol*, 2025, 27(1): 120-130. DOI:10.1007/s11307-024-01970-6.
- [30] Li H, Wang Y, Zhou J, et al. Evaluation of fibroinflammatory activity in thyroid eye disease using [¹⁸F]AlF-NOTA-FAPI-04 PET/CT: a prospective study [J]. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*, 2025, 52(5): 1890-1900. DOI:10.1007/s00259-024-07015-y.
- [31] Laban KG, Kalmann R, Leguit RJ, et al. Zirconium-89-labelled rituximab PET-CT in orbital inflammatory disease [J]. *EJNMMI Res*, 2019, 9(1): 69. DOI:10.1186/s13550-019-0530-9.
- [32] Weber M, Deuschl C, Bechrakis N, et al. ¹⁸F-FDG-PET/MRI in patients with Graves' orbitopathy [J]. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2021, 259(10): 3107-3117. DOI:10.1007/s00417-021-05339-1.
- [33] Zhou Y, Chen H, Shu H, et al. ⁶⁸Ga-FAPI PET/MR for active thyroid eye disease following thyroidectomy: a case supporting its dual role in clinical management [J]. *Clin Nucl Med*, 2025, 50(12): 1188-1189. DOI:10.1097/RLU.0000000000006081.

(收稿日期:2025-11-07)