

# 光学相干断层扫描技术在妇科领域的应用

Application of optical coherence tomography in gynecology

戢兰蝶<sup>1</sup>, 谢汶池<sup>2</sup>, 李倩<sup>2</sup>, 康兰丹<sup>1</sup>, 叶莉丽<sup>2</sup>, 梅劼<sup>1,3△</sup>

Ji Lan-die, XIE Wen-chi, LI Qian, KANG Lan-dan, YE Li-li, MEI Jie

1. 电子科技大学医学院, 四川 成都 610054; 2. 西南医科大学附属医院妇产科, 四川 泸州 646000;

3. 四川省医学科学院·四川省人民医院(电子科技大学附属医院)妇产科, 四川 成都 610072

**【摘要】** 光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)是近 30 年兴起的一种无创光学成像技术,可以生成人体组织高分辨率的横断面图像和 3D 图像。OCT 技术的优势,包括高分辨率、非侵入性和动态获取形态学特征的能力,使其成为妇科疾病诊断和管理的变革性工具。本文回顾了 OCT 技术的基本原理与发展历程,并阐述其在妇科领域的应用研究进展。

**【关键词】** 光学相干断层扫描;妇科

**【中图分类号】** R71

**【文献标志码】** B

**【文章编号】** 1672-6170(2025)03-0180-05

随着科技的不断进步,现代医学成像技术在医学诊断中发挥着越来越重要的作用。光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)技术自 30 多年前问世以来,逐渐被广泛应用于生物医学研究和临床实践,涵盖了眼科、皮肤科、肿瘤科、心血管科、口腔科、呼吸科和妇科等多个领域。

## 1 OCT 的概述

**1.1 OCT 技术的基本原理与发展历程** OCT 是一种复杂的成像技术,利用光捕获生物组织的高分辨率横截面图像。OCT 技术基于低相干干涉测量原理,能够获取生物组织在不同深度层次上对入射光的反射和散射信号,从而在无需外源性显影剂的帮助下,对生物组织的内部结构进行二维或三维成像。OCT 的核心是测量样品内不同层反射的光的时间延迟和强度。光源发出一束光束,该光束被分成两条路径:一条路径射向样品(样本臂),另一条路径射向参考镜(参考臂)。然后,从样品和参考镜反射的光重新组合。分析由重叠光波产生的干涉图案,以提取有关样品的深度信息。这个过程被称为干涉测量,对于实现 OCT 成像的高轴向分辨率特性至关重要,该成像可以接近组织病理学<sup>[1]</sup>。当前 OCT 技术的纵向(轴向)分辨率因所使用的 OCT 系统的具体类型而异。一般来说,轴向分辨率受光源带宽和系统设计的影响。据报道,高分辨率 OCT 平台可实现约 3  $\mu\text{m}$  的轴向分辨率,这比轴向分辨率通常约为 7  $\mu\text{m}$  的传统系统有所改进<sup>[2]</sup>。此外,利用全场扫频源 OCT 的系统,可以实现高达 1.3  $\mu\text{m}$  的轴向分辨率<sup>[3]</sup>。OCT 成像过程涉及几个关键步骤。首先,光源发出光束,被分成两路。传播到样

本的光与组织相互作用,并部分反射回检测器。参考臂中的光从镜子反射。当两束光束重新组合时,它们会产生对两臂之间的光程长度差异敏感的干涉图案。通过分析这种干涉图案,OCT 可以重建样品的横截面图像,揭示其内部结构<sup>[1,4]</sup>。OCT 技术的基本原理涉及利用低相干干涉测量来捕获生物组织的高分辨率图像。通过测量样品和参考镜反射光的干涉,OCT 可以提供详细的横截面图像,这在临床和研究环境中都是非常宝贵的。

OCT 自 20 世纪 90 年代初期问世以来,经历了许多重大发展,迅速成为医学领域,尤其是在眼科的重要成像方式。这一技术基于低相干干涉测量法,具备提供生物组织高分辨率横截面成像的能力。最初的 OCT 演示主要集中在人眼成像,充分展示了其在详细成像视网膜和眼前节结构方面的潜力。尽管首个商用 OCT 系统是时域 OCT (time domain OCT, TDOCT),但其在成像速度和灵敏度的表现上存在一定的局限性。而傅里叶域 OCT (fourier domain OCT, FDOCT) 的推出,则标志着这一技术的重大进步。FDOCT 能够从多个深度点同时收集数据,极大地提升了成像的速度和灵敏度。FDOCT 包含两种主要类型:谱域 OCT (spectral domain optical coherence tomography, SD-OCT) 和扫频 OCT (swept-source optical coherence tomography, SS-OCT),这两种系统能够同时从多个深度点收集数据,显著提高了成像速度和灵敏度。向 FD-OCT 技术的过渡,使得实时成像成为可能,并提升了成像的分辨率,这使其尤其适用于观察动态生物过程和复杂的解剖结构<sup>[5,6]</sup>。

OCT 技术与其他成像手段的结合,特别是与 OCT 血管造影(optical coherence tomography angiography, OCTA)的集成,能够实现血流及血管结构的实时无创可视化,从而显著提高对糖尿病视网膜病

**【基金项目】** 四川省科技厅重点研发项目(编号:2023YFS0039, 2023MS610)

△通讯作者

变和年龄相关性黄斑变性等疾病的诊断能力<sup>[7]</sup>。技术的创新也集中在提升 OCT 系统的可访问性和实用性方面。此外,软件方面的进步,例如为 OCT 成像开发的开源平台,促进了 OCT 系统在临床工作流程中的定制化和集成<sup>[6]</sup>。人工智能(artificial intelligence, AI)在 OCT 成像中的应用正逐渐成为一种新兴趋势,预计将增强图像分析与解读的能力。AI 算法的引入可以实现病理变化的自动检测,从而提升诊断的准确性和效率<sup>[8]</sup>。总的来说,OCT 技术的发展历程展现了成像速度、分辨率和功能等方面的显著进步,同时也在努力增强技术的可访问性,并将 AI 整合进系统以提升诊断效果。

**1.2 OCT 与其他成像技术的比较** OCT 是一种非侵入性的成像技术,近年来在多个医学领域受到了广泛关注。这种技术能够提供生物组织的高分辨率横截面图像,为疾病的诊断和监测提供了重要工具。OCT 的一个显著优点是其接近组织病理学的高分辨率。这一点在眼科尤为重要,OCT 能够非常详细地呈现视网膜和视神经的结构。例如,OCT 的分辨率可达到 5~10 微米,能够捕捉视网膜结构中细微变化,这些变化可能是疾病进展的重要指示,像年龄相关性黄斑变性和糖尿病视网膜病变等情况就可以通过该技术及时识别<sup>[9,10]</sup>。传统成像技术如荧光素血管造影(fluorescein angiography, FA)和吲哚菁绿血管造影(indocyanine green fluorescence angiography, ICG-FA)虽然也用于评估视网膜状况,但各有其局限性。FA 在可视化视网膜脉管系统和检测血管渗漏方面效果显著,但该技术需要对患者注射造影剂,并且在结构细节的展现上不及 OCT。而 ICG 更适合用于脉络膜血管成像,但同样缺乏提供轴向切片能力的优势,这是 OCT 的一个突出特点<sup>[9,10]</sup>。需要指出的是,OCTA 是 OCT 的一种衍生技术,可以在不需要注射染料的情况下实现视网膜和脉络膜血流的可视化,从而使其成为更加安全的患者替代方案<sup>[9,11]</sup>。

另一种影像技术是磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI),它能够提供更出色的软组织对比度,因此在多个医学领域得到了广泛应用。然而与 OCT 相比,MRI 在空间分辨率上存在一定的局限性。虽然 MRI 可以展示较大解剖结构的详细图像,但其分辨率通常难以达到 OCT 所具备的显微分辨率,而这一显微分辨率在检测组织早期病理变化方面极为重要<sup>[10]</sup>。OCT 能深入多层组织进行成像<sup>[10,12]</sup>,其深度能力对于评估影响深层结构的疾病,诸如硬皮病或其他结缔组织疾病尤其重要<sup>[10,13]</sup>。OCT 还可以与其他成像技术结合,以提高诊断能力。例如,结合光声显微镜(photoacoustic

microscopy, PAM)和荧光显微镜(fluorescence microscope, FM)的多模态成像系统,能够提供关于组织结构和功能的额外信息。这种技术整合能够对病理状态进行更为全面的评估,从而提升诊断的准确性。

尽管 OCT 有许多优点,但也存在局限性。该技术可能会受到运动伪影的影响,对高散射组织的成像能力可能受到限制。此外,虽然 OCT 提供出色的轴向分辨率,但与其他成像技术相比,其横向分辨率可能有限,特别是在脉络膜等致密组织中<sup>[9,10]</sup>。

## 2 妇科疾病临床诊断的需求与挑战

妇科疾病涉及多种影响女性生殖系统的疾病,最常见的妇科疾病包括子宫内膜异位症、盆腔炎、卵巢囊肿和子宫肌瘤,以及多种癌症类型,如子宫内膜癌和卵巢癌。这些疾病的诊断困难主要归因于几个因素:首先,众多妇科疾病具有相似的症状,这可能导致临床上的混淆和误诊。例如,盆腔疼痛可能与子宫内膜异位症、盆腔炎或卵巢囊肿相联系,在没有进行进一步调查的情况下,确切原因难以明确<sup>[14,15]</sup>。在某些情况下,可能需要进行侵入性程序来明确诊断,如可对疑似子宫内膜异位症进行腹腔镜检查,或对可疑的癌症进行活检。然而这些程序潜藏一定的风险,并且难以随时获得,可能导致诊断上的延迟<sup>[14,15]</sup>。同时,超声等影像技术的有效性通常依赖于操作者的技能水平以及患者的解剖结构,影像结果的错误解读也可能导致不准确的诊断和相应的治疗计划。

## 3 OCT 在妇科领域中的应用进展

OCT 技术的优势,包括高分辨率、非侵入性和动态获取形态学特征的能力,使其成为妇科疾病诊断和管理的变革性工具。这一优势使得 OCT 在检测病理状况方面表现突出,特别是在识别癌前病变或早期癌症等关键领域<sup>[16,17]</sup>。

**3.1 OCT 在宫颈病变的应用** OCT 技术已成为诊断宫颈病变的重要工具,特别是在细胞学结果轻微异常的情况下,例如意义不明的非典型鳞状细胞(atypical squamous cells of undetermined significance, ASC-US)和低度鳞状上皮内病变(low-grade squamous intraepithelial lesion, LSIL)。OCT 在检测宫颈上皮内瘤变(cervical intraepithelial neoplasia, CIN),特别是 CIN2+和 CIN3+方面的功效已得到评价。Ren<sup>[18]</sup>小组使用 OCT 对 733 例有 HPV 阳性、细胞学检查为不典型鳞状细胞或以上的患者进行了 OCT 和阴道镜下活检。结果显示 OCT 诊断的敏感性为 87.0%,特异性为 84.1%,总体准确性为 85.1%。在一项涉及细胞学结果轻微异常的女性的研究中,OCT 检测 CIN2+ 的灵敏度为 71.3%,检测

CIN3+ 的灵敏度为 75%, 虽然低于高危人乳头状瘤病毒 (high-risk human papillomavirus, hrHPV) 检测, 但仍表明其在识别 CIN2+ 方面的实用性<sup>[19]</sup>。这种能力对于及时干预和管理潜在的宫颈癌至关重要。虽然与 hrHPV 检测相比, OCT 的敏感性可能较低, 但其特异性明显较高。例如, 检测 CIN2+ 的特异性数据报告为 77.5%, 明显优于特异性仅为 15.6% 的 hrHPV 检测<sup>[19]</sup>。这种高特异性降低了误报的可能性, 从而最大限度地减少了阴道镜检查等侵入性手术的不必要转诊。OCT 技术的最新进展包括集成机器学习算法以进行自动图像分析。这一发展可以提高病变检测的准确性和效率, 使 OCT 成为临床环境中更实用的工具<sup>[20]</sup>。自动化系统可以帮助识别可能表明恶性肿瘤的组织细微变化, 进一步增强诊断能力。并且 OCT 提供高分辨率图像, 可以描绘宫颈组织的微观结构特征。这种能力对于区分良性和恶性病变以及评估病变的深度和范围特别重要<sup>[20]</sup>。

**3.2 OCT 在外阴疾病的应用** OCT 已成为评估和治疗外阴疾病的一种有价值的非侵入性成像技术。其应用涵盖多种疾病, 包括外阴硬化性苔藓 (vulvar lichen sclerosis, VLS)、外阴高级鳞状上皮内病变 (vulvar high-grade squamous intraepithelial lesion, vHSIL) 以及其他炎症和肿瘤性疾病。OCT 通过测量衰减系数, 可以有效可视化 VLS 中不同程度的真皮病变, 有助于发现疾病的早期表现并监测治疗效果。该研究根据皮肤病变的严重程度对患者进行分类, 揭示 OCT 可以区分 VLS 的初始、轻度、中度和重度阶段, 从而有助于早期诊断和及时干预<sup>[21]</sup>。在 vHSIL 的背景下, OCT 已被用来识别外阴组织的结构变化。该技术可以实现硬化区域和血管模式的可视化, 这对于区分健康组织和患病组织至关重要。OCT 成像的结果可以与组织学结果相关, 从而提高诊断准确性。值得注意的是, 与健康组织相比, 在外阴硬化性苔藓中观察到的血流量增加是一个新发现, 表明 OCT 可以深入了解与这些病症相关的血管变化<sup>[22]</sup>。此外, 人们还探索将 OCT 与其他成像方式 (例如皮肤镜检查) 相结合, 以改善外阴疾病的诊断过程。这种多模式方法可以对病变进行更全面的评估, 结合每种技术的优势来增强浅层和深层组织结构的可视化<sup>[23]</sup>。OCT 能够提供外阴微观结构的实时、高分辨率图像, 它使临床医生能够监测上皮厚度和血管化随时间的变化, 这对于评估治疗反应至关重要, 特别是对于接受点阵 CO<sub>2</sub> 激光治疗更年期泌尿生殖综合征等疗法的患者<sup>[24]</sup>。使用 OCT 量化治疗后阴道上皮厚度变化的能力可以指导临床决策并优化治疗方案。

为了提高阴道内的成像深度, Li 等<sup>[25]</sup>开发了一种 1.7  $\mu\text{m}$  扫描源激光光源的内镜下 OCT 技术来可视化体内阴道壁的形态, 成像深度提高了 25% 以上, 可以更好地显示固有层, 与周围组织的上皮层形成清晰的对比。最近的一项研究<sup>[26]</sup>将 OCT 扩展到了更广泛的外阴疾病中, 包括外阴正常炎症、尖锐湿疣、乳头状瘤、硬化性地苔、萎缩性硬化性地苔、纤维性上皮息肉和囊肿。对 63 例患有不同外阴疾病的患者进行 OCT 成像和阴道镜检查, 并将 OCT 图像与病理切片比较, 结果显示, OCT 检查的敏感性、特异性和准确性分别达到 83.82%、57.89% 和 78.16%。与病理结果相比, OCT 检查的敏感性为 83.82%、特异性 57.89%。

**3.3 卵巢肿瘤的 OCT 检测与评估** OCT 已成为一种有前景的卵巢肿瘤检测和评估成像方式, 特别是由于其高分辨率成像能力。该技术可以使卵巢组织的微观结构变化可视化, 包括间质、上皮和胶原蛋白, 这对于早期诊断和治疗计划至关重要。OCT 的高空间分辨率可以实现超声或 MRI 等传统成像方式通常无法辨别的精细组织结构的可视化<sup>[27]</sup>。研究表明 OCT 可以有效区分良性和恶性卵巢肿瘤。在一项涉及卵巢标本离体成像的研究中, OCT 检测肿瘤的灵敏度为 91.6%, 特异性为 87.7%, 凸显了其作为可靠诊断工具的潜力<sup>[28]</sup>。在卵巢癌的背景下, OCT 已被证明可以识别区分正常和异常卵巢组织的特定结构特征。例如, 在健康的卵巢组织中, 其结构通常组织良好, 具有清晰可见的卵泡和均匀的质地。相比之下, 癌组织表现出杂乱的结构、不规则的模式和改变的胶原纤维排列, 这些可以通过 OCT 成像可视化<sup>[29]</sup>。OCT 由于其非侵入性和实时成像功能而特别具有优势。这允许在手术过程中立即进行评估, 有可能指导外科医生区分健康组织和肿瘤组织。在临床环境中, OCT 可在腹腔镜手术中使用, 从而对卵巢组织进行实时成像。不仅有助于识别肿瘤, 还可以帮助外科医生在手术过程中做出明智的决定, 从而可能减少侵入性活检的需要<sup>[30]</sup>。进行术中成像的能力可以显著提高肿瘤切除的准确性, 它有助于识别肉眼可能不可见的微小残留肿瘤<sup>[31]</sup>。这一点至关重要, 因为肿瘤切除的完整性是卵巢癌治疗的关键预后因素。

有研究指出 OCT 可以提供与组织病理学结果密切相关的有价值的形态学信息。例如, 一项涉及使用 OCT 分析转基因小鼠卵巢癌的研究证明了采用机器学习算法对 OCT 图像进行分类的可行性, 实现了 0.81 的平均曲线下面积, 表明在区分癌变方面具有强大的性能<sup>[27]</sup>。该自动化框架利用神经网络来分析断层图像的空间有序序列, 展示了实时诊

断应用的潜力,并且有望自动将卵巢组织分类为良性或恶性。

**3.4 OCT 在妇科其他的应用** OCT 技术因其在诊断子宫内膜异位症方面的潜力而日益得到认可,特别是因为它提供了组织微结构的高分辨率横截面成像。这种能力对于识别和评估子宫内膜异位病变的范围至关重要,因为该病变通常很小或隐藏,使传统成像技术难以检测。OCT 通过使用红外光获取组织的详细图像,实现对表面下方结构的可视化。OCT 能够帮助区分健康组织和患病组织,从而更精确地切除子宫内膜异位病变,同时保留周围的健康结构。这对于最大限度减少术后并发症和保留生育能力至关重要<sup>[32]</sup>。此外,OCT 技术还能够评估与子宫内膜异位症相关的血管化情况,能够可视化异常血管模式,从而辅助医生识别隐匿性病变。这种血管化的评估对病变的精准定位和治疗计划的制定具有重要意义<sup>[32]</sup>。OCT 还可以在监测子宫内膜异位症患者的治疗反应方面发挥作用。通过提供治疗前后组织的详细图像,OCT 能够帮助评估手术干预或药物治疗的有效性。

OCT 技术在多囊卵巢综合征 (polycystic ovary syndrome, PCOS) 中的应用涉及脉络膜厚度和微血管化的评估。研究结果显示,与健康对照组相比,患有 PCOS 的女性可能表现出脉络膜厚度增加的现象。然而,在微血管化相关参数方面未观察到显著差异<sup>[33]</sup>。Yener 等<sup>[34]</sup> 研究通过使用 OCT 和 OCTA 技术对 PCOS 患者的黄斑和视盘的微观结构及血管状况进行评估,发现黄斑部位的微血管并未显示出异常。视网膜神经纤维层、神经节细胞复合体以及黄斑的厚度均处于正常范围。但值得注意的是,除鼻腔象限外,其余所有象限的视网膜旁厚度均显著增加。

OCT 的一项重要应用是其在三维谱域光学相干断层扫描 (SD-OCT) 中的应用,以评估卵巢组织中不同卵泡阶段。已证明根据颗粒细胞层的厚度区分原始卵泡、初级卵泡和次级卵泡的能力,为评估小鼠模型卵巢组织中的卵泡健康状况和密度分布提供了可靠的方法<sup>[35]</sup>。这种能力对于接受生育力保存手术的女性尤其重要,因为它允许选择具有高密度原始卵泡的卵巢组织进行冷冻保存和随后再植入<sup>[35]</sup>。在临床实践中,人们注意到将 OCT 技术整合到生育力保存方案中可以增强卵巢储备功能的评估。例如,已有报道在卵巢组织移植过程中使用吲哚菁绿近红外术中成像。该技术通过评估腹膜区域的血管化来帮助外科医生选择最佳的植入部位,这对于移植手术的成功至关重要<sup>[36]</sup>。

## 4 小结

OCT 技术在妇科领域的前景广阔,涵盖从早期癌症检测到生殖健康监测等多个方面。OCT 技术具有高分辨率、非侵入性和实时成像等优势。这些功能使得在细胞水平上进行可视化成为可能,效果相当于组织学检查,但无需组织准备或侵入性活检。无论是作为疾病诊断前的辅助检查技术,还是在疾病治疗后的随访监测中,OCT 都展现了其显著作用,成为帮助临床医生更好理解这些疾病的机制及其进展的重要工具。

尽管 OCT 在增强妇科领域的诊断和监测能力方面展现了巨大的潜力,但其临床应用目前仍面临一些挑战,包括穿透深度的限制、组织特征的变异性以及相关技术的不足。针对这些问题,需要进一步的研究和技术改进,以便更好地将 OCT 技术融入常规妇科实践。值得注意的是,OCT 的性能往往受到不同患者自身组织特征的固有变异性的影响,诸如激素状态、年龄和病理状况等因素均可能对组织的光学特性产生影响,导致成像结果出现不一致的情况。虽然已有多项研究对 OCT 进行了验证,但其在妇科临床应用方面仍处于发展的初期阶段,这意味着亟需开展更大范围的临床试验,以建立标准化的实施方案,并确认 OCT 在特定妇科疾病诊断中的准确性。现有研究通常聚焦于小规模样本或特定人群,这可能无法反映更广泛的患者群体的实际情况。目前的 OCT 系统在图像采集速度和捕捉组织动态变化能力方面也存在一定的局限性。例如,在成像过程中,尤其是在手术环境中,运动伪影的出现可能对图像质量和诊断的实用性产生不利影响。虽然 OCT 能够提供重要的诊断信息,通常还是需要与其他成像模式(如超声和 MRI)相结合,以实现更全面的评估。

随着技术的持续进步,成像速度、分辨率以及深度穿透能力都在不断提升,因此 OCT 有望在不久的将来成为妇科诊断与治疗的常规标准工具。

## 【参考文献】

- [1] Bouma BE, de Boer JF, Huang D, et al. Optical coherence tomography[J]. Nature Reviews Methods Primers, 2022, 2(1): 79.
- [2] von der Emde L, Saßmannshausen M, Morelle O, et al. Reliability of retinal layer annotation with a novel, high-resolution optical coherence tomography device: a comparative study[J]. Bioengineering, 2023, 10(4): 438.
- [3] Chen K, Song W, Han L, et al. Powell lens-based line-field spectral domain optical coherence tomography system for cellular resolution imaging of biological tissue[J]. Biomedical Optics Express, 2023, 14(5): 2003-2014.
- [4] Maguluri G, Grimble J, Caron A, et al. Core Needle Biopsy Guidance Based on Tissue Morphology Assessment with AI-OCT Imaging[J]. Diagnostics, 2023, 13(13): 2276.

- [5] Bouma BE, de Boer JF, Huang D, et al. Optical coherence tomography[J]. *Nature Reviews Methods Primers*, 2022, 2(1): 79.
- [6] Chen W, Wang H. OCTSharp: an open-source and real-time OCT imaging software based on C[J]. *Biomedical Optics Express*, 2023, 14(11): 6060-6071.
- [7] Yu Z, Ye J, Lu F, et al. Trends in research related to ophthalmic OCT imaging from 2011 to 2020: a bibliometric analysis[J]. *Frontiers in Medicine*, 2022, 9: 820706.
- [8] Feng HW, Chen JJ, Zhang ZC, et al. Bibliometric analysis of artificial intelligence and optical coherence tomography images: research hotspots and frontiers[J]. *International Journal of Ophthalmology*, 2023, 16(9): 1431.
- [9] Auksoy E, Borycki D, Węgrzyn P, et al. Spatio-temporal optical coherence tomography provides full thickness imaging of the chorioretinal complex[J]. *IScience*, 2022, 25(12): 105513.
- [10] Zhou K C, McNabb RP, Qian R, et al. Computational 3D microscopy with optical coherence refraction tomography[J]. *Optica*, 2022, 9(6): 593-601.
- [11] Khan HM, Gentle A, Armitage JA, et al. Multiple scan averaging to yield accurate quantitative analysis of optical coherence tomography angiograms[J]. *Scientific reports*, 2020, 10(1): 6194.
- [12] Schuh S, Weins AB, Welzel J. Noninvasive diagnostic imaging in pediatric skin lesions[J]. *Der Hautarzt*, 2021, 72(3): 199-206.
- [13] Zhang L, Li M, Liu Y, et al. Combining optical coherence tomography with magnetic resonance angiography and Doppler ultrasonography for clinical detection of scleroderma[J]. *The Anatomical Record*, 2020, 303(12): 3108-3116.
- [14] Talat H, Murrium SK, Suleman T, et al. Sonographic findings of a gynecological cause of acute pelvic pain - a systematic review[J]. *Journal of Ultrasonography*, 2022, 22(90): e183-e190.
- [15] Van Der Zanden M, Teunissen DAM, Van Der Woerd IW, et al. Barriers and facilitators to the timely diagnosis of endometriosis in primary care in the Netherlands[J]. *Family practice*, 2020, 37(1): 131-136.
- [16] Pujari A, Bhaskaran K, Sharma P, et al. Optical coherence tomography angiography in neuro-ophthalmology: current clinical role and future perspectives[J]. *Survey of Ophthalmology*, 2021, 66(3): 471-481.
- [17] P Mattison S, Kim W, Park J, et al. Molecular imaging in optical coherence tomography[J]. *Current Molecular Imaging (Discontinued)*, 2014, 3(2): 88-105.
- [18] Ren C, Zeng X, Shi Z, et al. Multi-center clinical study using optical coherence tomography for evaluation of cervical lesions in-vivo[J]. *Scientific Reports*, 2021, 11(1): 7507.
- [19] Yan L, Xiao X, He L, et al. Efficacy of optical coherence tomography in the triage of women with minor abnormal cervical cytology before colposcopy[J]. *Plos one*, 2023, 18(3): e0282833.
- [20] Bae JK, Roh HJ, You JS, et al. Quantitative screening of cervical cancers for low-resource settings: pilot study of smartphone-based endoscopic visual inspection after acetic acid using machine learning techniques[J]. *JMIR mHealth and uHealth*, 2020, 8(3): e16467.
- [21] Potapov AL, Loginova MM, Moiseev AA, et al. Cross-Polarization optical coherence tomography for clinical evaluation of dermal lesion degrees in vulvar lichen sclerosus[J]. *Современные технологии в медицине*, 2023, 15(1 eng): 53-60.
- [22] Huisman BW, Pagan L, Naafs RGC, et al. Dermatoscopy and optical coherence tomography in vulvar high-grade squamous intraepithelial lesions and lichen sclerosus: a prospective observational trial[J]. *Journal of Lower Genital Tract Disease*, 2023, 27(3): 255-261.
- [23] Potapov A, Matveev L, Moiseev A, et al. Multimodal OCT Control for Early Histological Signs of Vulvar Lichen Sclerosus Recurrence after Systemic PDT: Pilot Study[J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2023, 24(18): 13967.
- [24] Sudol NT, Miao Y, Li Y, et al. Optical vaginal biopsy using optical coherence tomography[J]. *Urogynecology*, 2020, 26(2): 155-158.
- [25] Li Y, Sudol NT, Miao Y, et al. 1.7 micron optical coherence tomography for vaginal tissue characterization in vivo[J]. *Lasers in surgery and medicine*, 2019, 51(2): 120-126.
- [26] Xu L, Ma Q, Lin S, et al. Study on the application and imaging characteristics of optical coherence tomography in vulva lesions[J]. *Scientific Reports*, 2022, 12(1): 3659.
- [27] Schwartz D, Sawyer TW, Thurston N, et al. Ovarian cancer detection using optical coherence tomography and convolutional neural networks[J]. *Neural Computing and Applications*, 2022, 34(11): 8977-8987.
- [28] van Manen L, Dijkstra J, Boccara C, et al. The clinical usefulness of optical coherence tomography during cancer interventions[J]. *Journal of cancer research and clinical oncology*, 2018, 144: 1967-1990.
- [29] Zeng Y, Nandy S, Rao B, et al. Histogram analysis of en face scattering coefficient map predicts malignancy in human ovarian tissue[J]. *Journal of biophotonics*, 2019, 12(11): e201900115.
- [30] Yu C, Dou T, Liu Y, et al. Clinical value of TV-CDS combined with serum tumor markers in diagnosis of ovarian cancer[J]. *Oncology Letters*, 2020, 20(2): 2028-2034.
- [31] van Vliet-Pérez SM, van de Berg NJ, Manni F, et al. Hyperspectral imaging for tissue classification after advanced stage ovarian cancer surgery—A pilot study[J]. *Cancers*, 2022, 14(6): 1422.
- [32] Turco LC, Vizzielli G, Vargiu V, et al. Near-infrared imaging with indocyanine green for the treatment of endometriosis: results from the Gre-endo trial[J]. *Frontiers in Oncology*, 2021, 11: 737938.
- [33] Akarsu Acar OP, Cengiz H, Onur IU, et al. Assessment of the retinal and choroidal microvascularization in polycystic ovary syndrome: an optical coherence tomography angiography study[J]. *International ophthalmology*, 2021, 41: 2339-2346.
- [34] Yener NP, Ozgen G, Tufekci A, et al. Optical coherence tomography angiography findings in polycystic ovary syndrome[J]. *J Coll Phys Surg Pak*, 2021, 31(9): 1057-1063.
- [35] Amaral MM, Sun A, Li Y, et al. Three-dimensional imaging and quantification of mouse ovarian follicles via optical coherence tomography[J]. *Biomedical Optics Express*, 2023, 14(7): 3213-3224.
- [36] Raimondo D, Raspollini A, Vicenti R, et al. The use of near-infrared imaging with indocyanine green in the ovarian tissue transplantation: a case report[J]. *Facts, Views & Vision in ObGyn*, 2023, 14(4): 353.

(收稿日期:2024-12-05;修回日期:2025-01-08)

(本文编辑:彭 羽)