• 综 沭・

1397

光学相干断层扫描技术定量观测 后巩膜葡萄肿的研究进展

陈剑英,胡欣欣,王丹丹,陆勤康

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2024.10.040 【中图分类号】 R770.4 【文献标志码】 C 【文章编号】 1

后巩膜葡萄肿 (posterior seleral staphyloma, PSS)不仅是病理性近视中最具特征性的表现,也是 近视黄斑病变的主要成因^[1]。国际近视黄斑病变摄 影分类分级系统凹以及基于眼底和光学相干断层扫 描技术 (optical coherence tomography, OCT)特征提 出的萎缩、牵拉和新生血管(ATN)分类系统¹³均将 PSS 视为近视性视网膜病变的关键诊断指标。传统 PSS的检测依赖于直接观察摘除的眼球或通过B超 和立体眼底镜进行体内检测^[4],但仅能提供二维图 像,无法展现 PSS 的全貌。三维磁共振成像(threedimensional magnetic resonance imaging, 3D-MRI) 能够分析整个眼球的形态,但空间分辨率较低,且难 以发现浅层葡萄肿的微小变化,也无法区分视网膜、 脉络膜和巩膜组织,或显示脉络膜和巩膜厚度的局 部变化。相比之下, OCT 技术以其快速、非侵入性 和高重复性的特点,成为分析巩膜内表面曲率的有 力工具,在某些情况下,甚至可以分析巩膜外表面的 曲率^[5]。本研究拟综述 OCT 定量观测 PSS 的研究 进展,现报道如下。

1 OCT 观测 PSS 的巩膜

OCT 技术在观察 PSS 方面展现出了独特的优势。在高度近视的眼睛中,视网膜和脉络膜层显著变薄,这为巩膜形态的研究提供了可能。因此,OCT 可以用于对人眼巩膜进行活体观察。

作者单位: 315040 宁波,宁波大学附属人民医院 通信作者: 陆勤康,Email:lqktyyx@163.com

【文章编号】 1671-0800(2024)10-1397-04

巩膜作为眼球的最外层结构,分为巩膜外层、巩 膜基质和巩膜内层的黑色素层。虽然巩膜外层与巩 膜紧密相连,但它们是两种不同的组织结构。扫频 OCT 在观察到视网膜脉络膜层显著变薄的高度近 视眼中,能够清晰地显示出后巩膜和巩膜外层^[6]。在 OCT 图像中,巩膜呈现为薄脉络膜外部的均匀高反 射结构。深层组织的细致观察揭示了一个相对低反 射的巩膜外层,它与巩膜外表面紧密接触,并似乎分 解成较小的束,进一步与眼眶脂肪组织融合。这一 低反射层被认为是巩膜外层和 Tenon 囊^[6]。由于这 些组织之间存在反射率的差异,使得在大多数情况 下,巩膜与巩膜外层之间的界限相对清晰可辨^[7]。

2 OCT 测量巩膜参数

OCT技术能够展示眼睛的不同结构,并提供脉络膜和巩膜的详细图像。这些信息对于理解高度近视 PSS 畸形如何导致病理性近视,进而威胁视力的病变进程至关重要。

2.1 OCT 测量巩膜厚度 巩膜厚度的测量是从脉 络膜-巩膜交界处到可见的巩膜外缘进行的^[7]。巩膜 外层与巩膜本身是不同的组织,在 OCT 测量过程 中,巩膜外层的厚度并不包括在内^[8]。使用 OCT 进 行测量时,可能会低估巩膜厚度,尤其是在巩膜较厚 的眼睛中,因为巩膜的后边界可能不可见。与巩膜 外缘不可见的眼睛相比,能够检测到巩膜外层的眼 睛通常具有更长的眼轴。扫频 OCT 观察到,无论是 长还是短的睫状后动脉,在巩膜内部都表现为线性 低反射结构。此外,在高度近视的眼睛中,外巩膜纤 维与巩膜纤维的分离可能被观察到,这种情况可能 导致对巩膜厚度的虚假高估^[7]。

基金项目: 宁波市眼科临床医学研究中心;宁波市视网膜视神 经疾病医学研究重点实验室;宁波市省市共建医学重点学科;宁波市 2025 重大科技项目(2021Z054);宁波市鄞州区农业与社会发展科技 项目(20231YZQ070037)

2.2 OCT 测量 PSS 中心凹下巩膜厚度(subfoveal scleral thickness, SFST) 研究表明, OCT 可以很好 地进行 SFST 的量化,并发现 PSS 眼睛较没有 PSS 眼睛 SFST薄,在采用1:1匹配近视眼眼轴长度的情 况下, SFST 与年龄呈负相关(*r=-0.323*, *P* < 0.05)^{19]}。 PSS发生率与眼轴的增加和脉络膜的变薄存在显著 相关性,且随着年龄增长而增加;眼轴的伸长导致现 有巩膜组织的重塑,而不是新组织的形成^[7]。PSS 形 成是高度近视眼后巩膜变薄的关键因素^[8]。

Hayashi 等¹⁰¹ 通过增强深部成像光学相干断层 扫描(enhanced depth imaging optical coherence tomography, EDI-OCT)发现,高度近视眼 SFST 为 (284.0±70.4)µm,无论是否存在近视视网膜脉络膜 病变, 巩膜厚度差异无统计学意义 (P>0.05)。然 而,该研究并未具体分析牵拉性、退行性和新生血管 性近视性黄斑病变。Meng 等^[11]及 Arlanzon-lope 等^[12] 使用光谱域光学相干断层扫描(spectral domain opt ical coherence tomography, SS-OCT)测量高度近视眼 S FST 分别为(394.734±123.09)µm 和(385.4±131.41)µm, 均高于 PARK 等[®]的(268.7±95.9) µm, Wong 等^[7]的 (261.6±78.5)µm 和 Hayashi 等^[10]的(284.0±70.4)µm。 测量方法、年龄和样本特征或所用OCT类型的不同 可能导致研究中观察到高达 70 µm 的差异,这些差 异可能是由于病理性近视的异质性以及不同类型的 黄斑改变(可能影响脉络膜厚度)造成的^[8]。

Maruko 等^[13]使用 SS-OCT 研究显示,有和没有脉 络膜新生血管 (choroidal neovascularization, CNV) 眼睛 SFST 分别为(333±57)µm 和(336±141)µm,差 异无统计学意义 (P > 0.05)。根据 META-PM 分 类, ≥ 2 类诊断为近视黄斑变性(myopia macular degeneration, MMD), 3 类为严重 MMD。在 SS-OCT 图像上, ≥ 3 类 MMD 的眼睛的脉络膜厚度和巩膜厚 度明显薄于 ≤ 2 类(均P < 0.05)^[8]。随着 MMD 严 重程度的增加,脉络膜显著变薄,这表明脉络膜的进 行性丧失可能在 MMD 的发病机制中起着重要作用。 而巩膜厚度与 MMD 的相关性较弱,在患有严重 MMD 的眼睛中,巩膜并不比轻度 MMD 的高度近视 眼睛显著变薄。因此,这支持了机械变化(如巩膜厚 度所反映的)不在 MMD 发病机制中起作用^[7]。

2.3 OCT 测量 PSS 的曲率 在近视眼患者中, PSS

黄斑曲率异常被认为是促进黄斑病变发展的一个关 键驱动因素^[14]。OCT 技术的最新进展不仅能检测出 MMD的病理变化,还能够定量评估高度近视眼后极 的整体形态变化^[15]。将 OCT 图像拟合二阶多项式 方程(ax2+bx+c),以视网膜色素上皮层为生物标志 物, 来研究 PSS 的曲率变化 [16]。该方程中的系数 a 代表了后葡萄肿曲率的陡峭程度。研究发现,中心 凹曲率的急剧变化与近视性牵引黄斑病变的发展密 切相关,但对于近视性 CNV 的发展则无明显影响。 这一发现与利用 OCT 扫描重建的后极彩色地形图 分析结果一致¹⁷⁷,即患有视网膜劈裂的眼睛比患有 CNV 的眼睛具有更陡的曲率变化。然而,也有研究 表明,患有脉络膜视网膜萎缩的眼睛显示出更大的 曲率变化^[17]。这可能是因为该研究中的萎缩性病变 面积较大,此类病例通常具有较长的眼轴和较高的 年龄, 而轻度的脉络膜视网膜萎缩病例的曲率变化 则较小。

运用 OCT 测量的距离黄斑中心 3 ~ 6 mm 处 的曲率在有无近视性牵引黄斑病变的病例之间差异 有统计学意义(P<0.05)^[18]。但这两组病例在眼球 直径(包括眼轴长度、赤道直径、眼轴长度/赤道直径 比)及玻璃体体积等参数上差异均无统计学意义(P > 0.05),提示局部眼球膨出和PSS形成可能与近视 性牵引黄斑病变的发病机制密切相关^[19]。OCT 测量 得到平均曲率和曲率方差值可用于定义和量化PSS。 患有 PSS 眼睛和无 PSS 眼睛在平均曲率和曲率方 差差异均有统计学意义(均P < 0.05)。当以平均曲 率 7.8×10⁻⁵ 和曲率方差 0.26×10⁻⁸ 作为分界值时, 98.4%的 PSS 眼睛分布在较大曲率和曲率方差的区 域^[17]。曲率彩色图可精确定位 PSS 本体及其边界。 这些成像策略有助于捕捉眼底形态的时间变化,如 脉络膜视网膜萎缩与脉络膜新生血管的因果关系、 视网膜劈裂向视网膜脱离进展的机制、量化 PSS 严 重程度等[17]。性别、眼轴长度和后极眼形状基线是 影响后极形状变化速度的重要因素[15]。通过 OCT 测 量的局部曲率数据定量分析显示,高度近视眼的后 眼底形态突出和波动存在显著的时间依赖性变化。 女性、老年人和高度近视患者的 PSS 眼睛往往具有 较大的平均曲率和曲率方差。当平均绝对曲 率≥6.97×10⁻⁵,绝对曲率方差≥2.06×10⁻⁹时,对检测

PSS 眼睛具有相当高的敏感性和特异性^[15]。监测后 极形状变化的速度有助于评估高度近视眼PSS 相关 并发症的风险。

2.4 OCT 测量 PSS 边缘角度 脉络膜厚度向 PSS 边缘的变化及巩膜后移被视为 PSS 边缘巩膜向内突 出的早期征兆^[19]。Shinohara 等^[20]利用超广角 OCT (UWF-OCT)对 PSS 的整个范围进行成像,发现 PSS 边缘具有 3 个一致的特征:脉络膜从外围到 PSS 边缘逐渐变薄,伴随着 PSS 边缘巩膜曲率半径的变化,从 PSS 边缘到后极方向脉络膜逐渐再增厚。这些特征有助于准确确定 PSS 的存在和范围。PSS 边缘角度为 8°~77°,平均(23.0±12.4)°,较大的角度是视网膜变薄和 Optos[®]伪彩色眼底摄影检测 PSS 的重要预测因素^[21]。在 PSS 边缘,视网膜的厚度显著减少,这种沿 PSS 边缘的内部视网膜损伤可能导致高度近视眼出现视觉损害^[22]。

3 EDI-OCT 与 SS OCT 测量巩膜的差别

EDI-OCT与SS-OCT都是用于观察眼部深层组 织的重要技术,它们在测量巩膜特征时各有优势和 局限性。EDI-OCT 技术通过改善成像框下半部分的 巩膜后边界可视化,但上半部分的信号强度显著降 低。这种信号衰减在使用 SS-OCT 的所有眼睛中都 非常低,因此 SS-OCT 提供了从成像框架顶部到底 部的视神经视网膜、巩膜、筛板和巩膜下结构的清晰 图像^[23]。SS-OCT的长中心波长相比传统光谱域OCT 仪器,提高了其组织穿透力,在高度近视眼中观察轴 向延伸的周围结构的更为有利。EDI-OCT 与 SS-OCT在识别巩膜后缘以及测量巩膜厚度方面差异有 统计学意义(P < 0.05)^[24]。在视网膜和脉络膜较薄 可视化巩膜的情况下,EDI-OCT 在研究后巩膜时显 示出出色的测量再现性[25]。然而,对于相对近视的 视盘倾斜综合征和圆顶黄斑的巩膜, EDI-OCT 的分 辨率较低,可能难以进行有效评估。

SS-OCT 技术依赖于使用的波长,更好的信号穿透力和深层结构的可视化能力^[26-27],使其成为原位检查眼睛深层组织的强大工具。它可以提供有关巩膜形态结构改变如何损害病理性近视中威胁视力的诊断和预后信息,同时也为这种疾病的遗传学研究提供了改进的基础。

4 总结

OCT技术已经成为观察人眼巩膜形态的重要工 具,其在高度近视眼研究中的应用是一个不断进步 的领域,未来的发展将依赖于更先进的成像技术和 更精确的定量评估方法,以及人工智能在数据处理 和分析中的应用。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参考文献

- RUIZ-MORENO J M, PUERTAS M, FLORES-MORENO I, et al. Posterior staphyloma as determining factor for myopic maculopathy[J]. Am J Ophthalmol, 2023, 252: 9-16.
- [2] OHNO-MATSUI K, KAWASAKI R, JONAS J B, et al. International photographic classification and grading system for myopic maculopathy[J]. Am J Ophthalmol, 2015, 159(5): 877-883.e7.
- [3] RUIZ-MEDRANO J, MONTERO J A, FLORES-MORENO I, et al. Myopic maculopathy: Current status and proposal for a new classification and grading system (ATN)[J]. Prog Retin Eye Res, 2019, 69: 80-115.
- [4] OHNO-MATSUI K, JONAS J B. Posterior staphyloma in pathologic myopia[J]. Prog Retin Eye Res, 2019, 70: 99-109.
- [5] LI Y, ZHENG F H, FOO L L, et al. Advances in OCT imaging in myopia and pathologic myopia[J]. Diagnostics, 2022, 12(6): 1418.
- [6] OHNO-MATSUI K, FANG Y X, MOROHOSHI K, et al. Optical coherence tomographic imaging of posterior episclera and tenon's capsule[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2017, 58(9): 3389-3394.
- [7] WONG C W, PHUA V, LEE S Y, et al. Is choroidal or scleral thickness related to myopic macular degeneration[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2017, 58(2): 907-913.
- [8] PARK U C, LEE E K, KIM B H, et al. Decreased choroidal and scleral thicknesses in highly myopic eyes with posterior staphyloma[J]. Sci Rep, 2021, 11(1): 7987.
- [9] LI H R, WANG Q X, LIU Y C, et al. Investigation of macular structural and microcirculatory characteristics of posterior staphyloma in high myopic eyes by swept source optical coherence tomography angiography[J]. Front Physiol, 2022, 13: 856507.
- [10] HAYASHI M, ITO Y, TAKAHASHI A, et al. Scleral thickness in highly myopic eyes measured by enhanced depth imaging optical coherence tomography[J]. Eye, 2013, 27(3): 410-417.
- [11] MENG L H, YUAN M Z, ZHAO X Y, et al. Wide-field swept source optical coherence tomography evaluation of posterior segment changes in highly myopic eyes[J]. Eur J Ophthalmol, 2022, 32(5): 2777-2788.
- [12] ARLANZON-LOPE P, CAMPOS M A, FERNANDEZ-BUENO I, et al. Does PLEX[®] elite 9000 OCT identify and characterize most posterior pole lesions in highly myopic patients?[J]. J Clin Med, 2023, 12(5): 1846.
- [13] MARUKO I, IIDA T, SUGANO Y, et al. Morphologic analysis in pathologic myopia using high-penetration optical coherence

tomography[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2012, 53(7): 3834-3838.

- [14] YAN Y N, WANG Y X, YANG Y, et al. Ten-year progression of myopic maculopathy: The Beijing eye study 2001-2011[J]. Ophthalmology, 2018, 125(8): 1253-1263.
- [15] NUMA S, YAMASHIRO K, WAKAZONO T, et al. Prevalence of posterior staphyloma and factors associated with its shape in the Japanese population[J]. Sci Rep, 2018, 8(1): 4594.
- [16] PARK U C, MA D J, GHIM W H, et al. Influence of the foveal curvature on myopic macular complications[J]. Sci Rep, 2019, 9 (1): 16936.
- [17] MIYAKE M, YAMASHIRO K, AKAGI-KURASHIGE Y, et al. Analysis of fundus shape in highly myopic eyes by using curvature maps constructed from optical coherence tomography[J]. PLoS One, 2014, 9(9): e107923.
- [18] WAKAZONO T, YAMASHIRO K, MIYAKE M, et al. Association between eye shape and myopic traction maculopathy in high myopia[J]. Ophthalmology, 2016, 123(4): 919-921.
- [19] TANAKA N, SHINOHARA K, YOKOI T, et al. Posterior staphylomas and scleral curvature in highly myopic children and adolescents investigated by ultra-widefield optical coherence tomography[J]. PLoS One, 2019, 14(6): e0218107.
- [20] SHINOHARA K, SHIMADA N, MORIYAMA M, et al. Posterior staphylomas in pathologic myopia imaged by widefield optical coherence tomography[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2017, 58(9): 3750-3758.
- [21] LIU L, FANG Y X, IGARASHI-YOKOI T, et al. Clinical and morphologic features of posterior staphyloma edges by ultrawidefield imaging in pathologic myopia[J]. Retina, 2021, 41(11):

2278-2287.

- [22] TANAKA Y, SHIMADA N, OHNO-MATSUI K. Extreme thinning or loss of inner neural retina along the staphyloma edge in eyes with pathologic myopia[J]. Am J Ophthalmol, 2015, 159(4): 677-682.
- [23] AKAGI T, HANGAI M, KIMURA Y, et al. Peripapillary scleral deformation and retinal nerve fiber damage in high myopia assessed with swept-source optical coherence tomography[J]. Am J Ophthalmol, 2013, 155(5): 927-936.
- [24] PARK H Y L, SHIN H Y, PARK C K. Imaging the posterior segment of the eye using swept-source optical coherence tomography in myopic glaucoma eyes: Comparison with enhanced-depth imaging[J]. Am J Ophthalmol, 2014, 157(3): 550-557.
- [25] PARK J H, CHOI K R, KIM C Y, et al. The height of the posterior staphyloma and corneal hysteresis is associated with the scleral thickness at the staphyloma region in highly myopic normal-tension glaucoma eyes[J]. Br J Ophthalmol, 2016, 100(9): 1251-1256.
- [26] SHINOHARA K, MORIYAMA M, SHIMADA N, et al. Characteristics of peripapillary staphylomas associated with high myopia determined by swept-source optical coherence tomography[J]. Am J Ophthalmol, 2016, 169: 138-144.
- [27] KARSKA-BASTA I, KUBICKA-TRZASKA A, CHRZASZCZ M, et al. Toxocara optic disc granuloma: Deep range imaging optical coherence tomography findings[J]. Case Rep Ophthalmol, 2019, 10(3): 339-343.

收稿日期:2024-05-25 (本文编辑:方能)