

频域 OCT 检测 mGCC 厚度在原发性青光眼诊断中的应用进展

何雪瑞¹, 刘涛²

作者单位:¹(710000) 中国陕西省西安市, 西安医学院;
²(723000) 中国陕西省汉中市三二〇一医院眼科

作者简介:何雪瑞,西安医学院眼科在读硕士研究生,研究方向:青光眼。

通讯作者:刘涛,博士,主任医师,研究方向:眼底病. taoliustone@163.com

收稿日期:2016-08-01 修回日期:2016-10-08

Application in diagnosis of primary glaucoma by macular ganglion cell complex thickness measurement with spectral-domain OCT

Xue-Rui He¹, Tao Liu²

¹Xi'an Medical University, Xi'an 710000, Shaanxi Province, China; ²Department of Ophthalmology, San Er Ling Yi Hospital, Hanzhong 723000, Shaanxi Province, China

Correspondence to: Tao Liu, Department of Ophthalmology, San Er Ling Yi Hospital, Hanzhong 723000, Shaanxi Province, China. taoliustone@163.com

Received:2016-08-01 Accepted:2016-10-08

Abstract

• Glaucoma is a group of irreversible blind eye diseases with specific optic nerve damage and visual field defect. Early diagnosis and treatment of glaucoma is vital for prognosis, but difficult in clinical practice. Macular ganglion cell complex thickness (mGCC) consists of the inner three layers of retina: retinal nerve fiber, ganglion cell and inner plexiform layers, which is glaucoma target tissue so to be measured the thickness of the mGCC as better indicator for early diagnosis in glaucoma. Optical coherence tomography (OCT) is a non-contact, good repeatability technique to obtain fast high-resolution images from the anterior and posterior segments of the eye, and it has been widely used in ophthalmology. Spectral-domain (SD) OCT allows a higher image resolution and can measure the thickness of mGCC thickness, providing new parameters for the early diagnosis of glaucoma.

• KEYWORDS: spectral-domain optical coherence tomography; macular ganglion cell complex; primary glaucoma

Citation: He XR, Liu T. Application in diagnosis of primary glaucoma by macular ganglion cell complex thickness measurement

with spectral-domain OCT. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2016; 16(11):2039-2043

摘要

青光眼是一种具有特征性视神经损害和视野缺损的不可逆致盲眼病,其早期诊断、早期治疗是决定预后的关键。黄斑区视网膜神经节细胞复合体 (macular ganglion cell complex, mGCC) 由黄斑区视网膜的内三层结构组成,包括视网膜神经纤维层 (nerve fiber layer, RFL)、神经节细胞层 (ganglion cell layer, GCL) 和内丛状层 (inner plexiform layer, IPL),它是青光眼结构损害的靶组织,有助于青光眼的早期诊断。光学相干断层扫描 (optical coherence tomography, OCT) 具有非接触性、可重复性好、获取眼部图像快等优点,已在眼科领域广泛应用。频域 OCT 能提供更高的图像分辨率,可对黄斑区视网膜神经节细胞复合体 (mGCC) 的厚度进行精确测量,为青光眼的早期诊断提供了新参数。

关键词:频域 OCT;黄斑区视网膜神经节细胞复合体;原发性青光眼

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2016.11.14

引用:何雪瑞,刘涛.频域 OCT 检测 mGCC 厚度在原发性青光眼诊断中的应用进展. 国际眼科杂志 2016;16(11):2039-2043

0 引言

青光眼是一种具有特征性视神经损害和视野缺损的不可逆致盲眼病,预计至 2020 年全球原发性青光眼患者将达到 7960 万人,我国人群原发性青光眼患者将达到 2182 万人 (占 27.4%)^[1-2]。由于我国青光眼患者首诊时约 2/3 已是视觉功能损害中、晚期,所以为了保留视功能并预防视力丧失,探索青光眼早期诊断的有效途径至关重要。目前视野检查仍是青光眼诊断的金标准,但近年来的研究已经表明,在出现临床上可检测到的青光眼视野缺损之前,青光眼对视网膜神经节细胞 (retinal ganglion cells, RGCs) 的损害可能已经发生,所以直接评估 RGCs 的丢失是青光眼早期诊断的关键^[3-4]。约 50% 以上的 RGCs 集中于黄斑区,RGCs 达 8~10 层,其胞体直径是轴突的 10~20 倍;同时,相比于视盘,黄斑部结构更简单,无大血管,其形态在正常人群的变异度小。如上所述,评估黄斑部 RGCs 的丢失很可能是早期青光眼诊断的一种更直接的方法^[5]。

OCT 是一种非接触性、高分辨率的活体生物组织结构显像技术,因能直接客观地测量视乳头、cpRNFL 以及黄斑区视网膜厚度参数,且测量值与组织学测量值基本一致而被广泛应用于青光眼的诊断及随访跟踪^[6]。时域 OCT (time-domain OCT, TD-OCT) 由于分辨率较低,不能

将 RGCs 从其他结构中分离出来,所以部分学者研究发现 cpRNFL 参数在诊断青光眼方面优于黄斑区全层视网膜厚度参数^[7-8]。然而最新频域 OCT (spectral-domain OCT,SD-OCT) 与 TD-OCT 相比具有更高的分辨率、灵敏度和更快的扫描速度,可以清晰显示黄斑部视网膜 10 层结构及细小的形态变化,并能定量检测黄斑区视网膜厚度的改变,从而为青光眼的早期诊断提供了新参数—黄斑区视神经节细胞复合体(mGCC)厚度^[9]。

1 黄斑区视神经节细胞复合体的来源

黄斑区视神经节细胞复合体主要由黄斑区视网膜的内 3 层结构组成,即视网膜神经纤维层(RFL):由视网膜节细胞的轴突组成、神经节细胞层(GCL):由视网膜节细胞的胞体组成和内丛状层(IPL):由视网膜节细胞的树突组成,这 3 层结构正构成青光眼的靶组织——mGCC^[10-11]。之前 Ishikawa 等^[12]提出一种传统的利用时域 OCT 成像的黄斑分层算法,他们通过对 23 例正常人和 24 例青光眼患者进行研究,合并不同的黄斑部视网膜层,从中选取变异度最小的指标,研究发现黄斑神经纤维层、内层视网膜联合层(包括节细胞层、内丛状层和内核层)在青光眼患者中明显变薄($P \leq 0.002$),而外层视网膜不受影响;且上述这四层结构对青光眼的诊断能力高于黄斑全层视网膜厚度($P \leq 0.049$),但与 cpRNFL 的诊断价值相比,二者之间无显著性差异($P \geq 0.15$)。该研究结果提示内层视网膜厚度测量可能用于检测青光眼的早期视神经损害。随后 Tan 等^[13]假设青光眼内层视网膜厚度为标准诊断参数,利用 Ishikawa 等^[12]提出的黄斑分层算法对内层视网膜进行了重新分层统计,发现内三层视网膜(即神经纤维层、节细胞层和内丛状层)受青光眼影响最为明显,内核层变化程度少,外层视网膜(外丛状层、外核层、光感受器内外段及视网膜色素上皮细胞层)变化最小。Tan 等^[13]由此提出把内三层合并为一个整体即黄斑区神经节细胞复合体(mGCC),以期用于早期诊断青光眼。目前频域 OCT 的扫描速度及分辨率大大提高,实现了视网膜神经节细胞层的直接测量,其 GCC 分析程序能够对 mGCC 进行自动分层分析。并且频域 OCT 测量 mGCC 厚度参数有着较好的可重复性,因此能够为研究青光眼黄斑区视网膜结构变化提供一个理想的方法^[10,14]。

2 频域 OCT 检测 mGCC 在青光眼中进展

Tan 等^[5]最早运用 RTVue FD-OCT 对青光眼患者进行研究,发现在视野损害期青光眼组(perimetric glaucoma,PG)平均 mGCC 厚度 AUROC(0.90)高于黄斑区全层视网膜(macula retinal,MR)厚度 AUROC(0.85),两者差异具有统计学意义($P=0.021$);在视野损害前期青光眼组(pre-perimetric glaucoma,PPG)平均 mGCC 厚度 AUROC(0.78)高于 MR 厚度 AUROC(0.76),但两者比较无统计学意义。同时 SD-OCT 所测得平均 mGCC 厚度 AUROC(0.90)与 TD-OCT 所测得的 cpRNFL 厚度 AUROC(0.92)相比,两者无统计学意义($P>0.1$)。注:AUROC 指接收者操作特征曲线下面积,它目前被广泛应用于医学诊断性能的评价,AUROC 值越大,诊断价值越高。AUROC 的取值范围为 0.500~1.000,AROC 在 0.500~0.700 时诊断价值较低,在 0.700~0.900 时诊断价值中等,在 0.900 以上时诊断价值较高;由此说明 mGCC 检测确实提高了黄斑区视网膜的诊断效能,且

mGCC 与 cpRNFL 的诊断效能具有可比性,故黄斑区 GCC 厚度检测是青光眼诊断及监测进展的有效方法。随后, Schulze 等^[15]应用 SD-OCT 更进一步比较 mGCC 厚度、cpRNFL 厚度及视乳头相关指标在青光眼及高眼压症中的诊断效能,结果发现青光眼患者的 mGCC、MR 厚度均较另两组明显下降,诊断青光眼的参数依次为 C/D 比值、cpRNFL 厚度及 mGCC 厚度,三者间差异无统计学意义,结果与 Tan 等^[5]相符。在正常眼压性青光眼患者方面,Seong 等^[16]的研究发现,早期仅有视野旁中心暗点的患者,mGCC 厚度测量结果与 cpRNFL 厚度具有较高的相关性[RNFL1 (盘周扫描范围为 4mm×4mm) 和 RNFL2 (盘周扫描范围为 3.45mm) 的相关系数分别为 0.773, 0.774 ($P<0.001$),平均 mGCC 厚度 AUROC(0.945)略低于 RNFL1 以及 RNFL2 厚度 AUROC(0.973 和 0.976),三者间无统计学意义];中晚期青光眼患者,mGCC 厚度 AUROC 低于 cpRNFL 厚度 AUROC ($P<0.01$)。提示 mGCC 与 cpRNFL 厚度对早期正常眼压性青光眼有相同诊断能力,尤其是早期仅有视野旁中心暗点的患者。然而 Lee 等^[17]通过对 30 眼旁中心暗点阳性和 33 眼阴性的青光眼病理进行了研究,发现 mGCC 厚度在区别是否存在旁中心暗点方面优于 cpRNFL 厚度。在青光眼分级诊断效能方面, Kim 等^[18]研究纳入 130 例正常人和 138 例青光眼患者,根据视野平均缺损(mean defect,MD)值将青光眼按严重程度分为早期、中期、晚期,结果表明 mGCC 层厚度参数在早期青光眼中的诊断能力(AUROC=0.834),略高于 cpRNFL(AUROC=0.782),但二者无显著统计学差异($P=0.330$),与 Chen 等^[19]研究结果一致。然而也有不同报道,如 Moreno 等^[20]使用 SD-OCT 对 67 例早期青光眼及 56 例正常人进行检测,结果发现 mGCC 参数的 AUROC 分别为平均(0.815)、上方(0.807)、下方(0.788),三者间比较无差异;cpRNFL 参数的 AUROC 分别为平均(0.735)、上方(0.728)、下方(0.697),三者间比较差异无统计学意义;而平均 mGCC 的 AUROC(0.815)高于平均 RNFL 的 AUROC(0.735),差异存在统计学意义。且在特异性为 80% 时平均 mGCC 和 cpRNFL 厚度的敏感性分别为 66.7%、62.9%。Fang 等^[21]研究了 SD-OCT 的 mGCC 和 cpRNFL 厚度参数对 34 例早期原发性开角型青光眼(primary open angle glaucoma,POAG)患者及 42 例正常人的诊断效能,认为在 cpRNFL 参数中平均 cpRNFL 厚度的 AUROC 最大,mGCC 参数的 AUROC 均低于 cpRNFL 参数的 AUROC。分析出现这些差异的原因可能在于黄斑区仅存在 50% 左右的 RGC,而在 RNFL 程序中可评估近 100% 的 RGC,也可能与各研究对象、仪器的选择及分析方法的不同有关。另外,mGCC 测量的主要部位是黄斑区,避免了视盘结构异常,如高度近视眼、视盘旁巨大萎缩弧等对 RNFL 带来的干扰。并且 mGCC 很少受屈光状态及眼轴的影响^[22-23]。Kim 等^[24]研究了 mGCC 和 cpRNFL 厚度参数对合并高度近视眼的青光眼的诊断价值,结果发现,青光眼组 mGCC 厚度与 cpRNFL 厚度较正常组明显变薄($P<0.05$),平均 mGCC 厚度 AUROC(0.889)高于 cpRNFL 厚度 AUROC(0.825),但两者无统计学意义($P=0.422$),考虑差异不明显主要是因为该研究排除了那些合并有极高度近视的患者。由此说明在青光眼合并高度近视眼,mGCC 的检测或具有比 cpRNFL 更重要诊断价值及优势。

cpRNFL与视野平均缺损(mean defect, MD)的相关性已被我们所熟知^[25]。其中视野 MD 是指视野检测所有位点实际的阈值均值与相应年龄组正常均值之间的差值,是平均缺损值,表示受检者的整个视敏度与同龄正常人的参考敏感度相比升高或降低的程度,它的变化反映了青光眼对视神经功能损害的程度。然而 mGCC 与视野 MD 的相关性近些年也才被证实, Mori 等^[26]比较了 mGCC 厚度、MR 与视野 MD 之间的相关性,结果表明前两者均与视野 MD 具有密切的相关性(mGCC 厚度: $r=0.580, P<0.001$; MR: $r=0.458, P<0.001$)。并且 Boling 等^[27]通过回归方法分析了黄斑部视网膜内层、外层及相应视野区域的相关性,所有相关性指标 Spearman 系数均提示对应的两两之间存在正相关性。我国樊宁等^[28]运用 SD-OCT 对 POAG 患者进行了 mGCC 厚度、cpRNFL 厚度测量,并分析了二者与视野 MD 的相关性,结果发现 SD-OCT 定量测量 mGCC 厚度能够区分 POAG 患者与正常人群,且随着青光眼病情的进展,mGCC 和 cpRNFL 厚度均逐渐变薄,视野 MD 的绝对值也越来越大,mGCC 厚度和 cpRNFL 厚度均与视野 MD 呈正相关($r=0.601, 0.810, P<0.01$)与 Boling 等^[27]的研究结果相一致。这说明 mGCC 厚度参数能够反映 POAG 对 RGCs 的损害程度。基于 POAG 和原发性开角型青光眼(primary angle-closure glaucoma, PACG)相同的病理基础,即视神经节细胞及轴索的损害, Inuzuka 等^[29]利用 HD-OCT 对只有上方或者下方视野缺损的 67 例 PACG 进行 mGCC 厚度的测量,发现 mGCC 厚度是早期青光眼改变的一个敏感指标,它与视野检查结果有着良好的一致性,并能早于视野检测到与青光眼损害相关的结构改变。刘是等^[30]运用 SD-OCT 分别对慢性原发性闭角型青光眼患者(chronic primary angle-closure glaucoma, CPACG)及可疑青光眼患者(suspected glaucoma, SG)的 cpRNFL 厚度、mGCC 厚度进行了检测,并分析了这两组 cpRNFL 厚度、mGCC 厚度与视野 MD 的相关性,发现早期 CPACG 组 cpRNFL、mGCC 均与视野 MD 呈明显的正相关($r=0.65, 0.72$), SG 组 cpRNFL 与视野 MD 无相关性($r=0.206$),但 mGCC 与视野 MD 呈正相关性($r=0.313$)。说明 mGCC 的变化在青光眼早期更敏感。

总之,应用频域 OCT 进行 mGCC 厚度测量能够识别青光眼的早期视神经损害,是青光眼早期诊断的重要指标,其与自动视野计的结合应用对青光眼病情跟踪和疗效评估有非常重要的意义。

3 黄斑部其他参数在青光眼中的应用

3.1 神经节细胞层+内丛状层

随着 SD-OCT 性能提高、软件技术完善,SD-OCT 可更精确测量 mGCC 中的 GCL+IPL,使得青光眼早期诊断的能力获得进一步提高。Wang 等^[31]在对 26 例青光眼及 20 例正常对照组的研究中发现黄斑部视网膜内核层(INL)和外层视网膜包括外丛状层、外核层、感光细胞层、色素上皮层及 Bruch 膜在青光眼组和正常组的厚度比较中无差异,但黄斑部视网膜 GCL+IPL 厚度在青光眼组显著薄于正常对照组。Kotowski 等^[32]还比较了黄斑部 RNFL、GCL+IPL、GCC、外层视网膜(outer retinal, OR)、MR 及 cpRNFL 厚度在青光眼中的诊断效能,结果表明黄斑部平均 GCL+IPL 厚度和平均 GCC 厚度具有最高诊断能力,且两者之间结果相近,无统计学差异(AUROC 分别为 0.901, 0.900),与

cpRNFL 诊断价值相当。而 Takayama 等^[33]认为以点代面的方法寻找最小 GCL+IPL 厚度,能够弥补以往只评估平均值的缺陷,从而能够及早发现局部易于受损的 RGC 丢失,更早地诊断青光眼。由此, Kimura 等^[34]对 78 例早期青光眼(39 例无旁中心视野损害, 39 例有旁中心视野损害)黄斑部视网膜不同层次组合(mRNFL、GCL+IPL、GCC)的厚度进行了测量,发现黄斑部最小 GCL+IPL 厚度在有旁中心暗点的早期青光眼中诊断能力最高,十分具有诊断价值。Mwanza 等^[35]使用 SD-OCT 的视网膜神经节细胞(RGC)分析方法也证实,GCL+IPL 厚度能够很好的鉴别早期青光眼患者和正常眼者。综上所述,通过分析 GCL+IPL 厚度,也有助于青光眼早期诊断。

3.2 神经节细胞复合体厚度与全视网膜厚度的比值

Kita 等^[36]最近在运用 SD-OCT(RTVue-100)检测 mGCC 的基础上提出了一种新的黄斑参数,即 G/T 比值(ganglion cell complex thickness to total retinal thickness ratio)也就是 mGCC 厚度与 MR 的比值。他们认 G/T 比值或许能够进一步提高内层视网膜参数对青光眼的诊断能力。于是基于日本人群,他们运用 SD-OCT 对 99 例 POAG 及 35 例正常人进行了 mGCC、MR、OR 以及 cpRNFL 厚度测量,计算出 G/T 比值,并分别分析了这些参数对青光眼的诊断能力。结果发现正常人的 G/T 值为 $36.0\% \pm 1.5\%$, 早期青光眼患者 G/T 值为 $31.8\% \pm 1.7\%$, 进展期青光眼患者 G/T 比值为 $30.2\% \pm 2.6\%$, 三者间具有统计学意义,即随着青光眼的进展 G/T 比值逐渐变小;在青光眼诊断能力方面,G/T 比值的 AUROC 明显高于 MR 及 cpRNFL 厚度 AUROC($P<0.05$);并且在特异性 $>90\%$ 时 G/T 比值的敏感性为 93.94%。而与之相反,在白种人群中,Holló 等^[37]运用 RTVue-100 OCT 测量 50 例正常人、28 例高血压患者、33 例 PPG 以及 66 例 PG 的 cpRNFL 和 mGCC 厚度,计算出 G/T 比值,并比较了这三种参数对青光眼的诊断能力,却发现正常人 vs 其他所有组、正常人 vs PPG 和 PG 以及正常人 vs PG 的平均 RNFL, 下方 RNFL, 平均 mGCC 以及下方 GCC 厚度 AUROC 高于 G/T 比值,即 G/T 比值并没有提高识别青光眼的的能力。说明 G/T 比值用于青光眼诊断方面可能存在种族差异,如果要将其作为青光眼的一诊断指标,仍需大量研究。

4 频域 OCT 黄斑部位扫描的局限性

目前,黄斑厚度测量在诊断青光眼方面尚存在一定局限性。(1)频域 OCT 在成像时易受患者眨眼、眼球移动及视网膜分层失败等的影响,使得图像失真、产生伪影^[38];(2)有后段影像技术提供的证据支持黄斑结构和功能损害间的关系,而检测仪器对青光眼诊断受到一般人群 RNFL 正常值和技术性假设的限制^[39];(3)在青光眼诊断中,频域 OCT 测量 mGCC 范围局限,对周边视野损害的青光眼显示出一定的不足;且易受到并存的一些黄斑疾病及屈光介质混浊的影响,因此对于此类患者不适合用黄斑厚度检测青光眼的损害和进展^[11];(4)中心视力的空间总和可能影响黄斑测量对青光眼的诊断以及与功能测试的一致性^[40]。标准化自动视野检查(standard automated perimetry, SAP)通常是功能测试的金标准。在早期青光眼,随着内层视网膜变薄,扩大的空间区域(Ricco 区)总和能代偿降低的 SAP 敏感性,保持此区域相对稳定的视野阈值,从而可能会影响形态学检查

(黄斑厚度)与SAP敏感度之间相关性比较。因此在青光长期随访中,频域OCT黄斑厚度的测量是否能成为早期诊断青光眼视神经损害的一个有力指标还有待研究,同时需要结合cqRNFL厚度评价。

5 小结

青光眼是全球第二大致盲性眼病,其早期诊断、早期控制非常重要。频域OCT是近十几年来逐渐发展起来的一种技术,由于它具有高速、高分辨率及量化分析等特点,不仅可以对黄斑部进行检测,还能及时、无创地扫描视盘及盘周区域RNFL改变,是青光眼诊断和监测的有效工具。其中黄斑部视网膜厚度尤其是GCC层厚度的测量可能是青光眼早期诊断的一种重要手段。近期在频域OCT基础上,有学者发明了一种新型技术,即光相干断层扫描血管成像技术(optical coherence tomography angiography, OCTA),它是一种无创、快速、高分辨率的眼底血管成像技术,不仅能够对视网膜脉络膜血管进行分层成像,而且还能量化指定区域的血流指数及病灶血流面积^[41]。运用该技术, Jia等^[42]对比观察了青光眼患者和正常人的视盘血流指数(flow index, FI),发现青光眼患者较正常人的血液灌注降低了25% ($P=0.003$),且与视野的模式标准差(PSD)高度相关($R=0.752, P=0.001$)。Wang等^[43]在研究青光眼严重程度与视盘血流灌注的关系中发现,青光眼患者视盘FI及血管密度不仅与视野MD、cpRNFL厚度及mGCC厚度密切相关,而且在识别青光眼方面,这两者的AUROC分别为0.82和0.80,具有较高的诊断价值。提示青光眼患者存在明显的视盘血流灌注减少,且这种减少与青光眼的结构及功能损害密切相关,进而在评估青光眼患者的病情及进展方面可能具有很好的价值。但OCTA作为一种新技术,本身存在一些问题,有待完善的问题,如扫描范围局限、对患者配合度要求高等。在未来随着OCTA扫描速度的提高及扫描范围的扩大,联合频域OCT等辅助检查,有望克服OCTA使用过程中发现的这些不足,从而有助于我们深入理解眼后极部微循环与青光眼发生发展的关系。

参考文献

- 1 Quigley HA, Broman AT. The number of people with glaucoma worldwide in 2010 and 2020. *Br J Ophthalmol* 2006;90(3):262-267
- 2 Tham YC, Li X, Wong TY, et al. Global prevalence of glaucoma and projections of glaucoma burden through 2040: a systematic review and meta-analysis. *Ophthalmology* 2014;121(11):2081-2090
- 3 Kim YJ, Kang MH, Cho HY, et al. Comparative study of macular ganglion cell complex thickness measured by spectral-domain optical coherence tomography in healthy eyes, eyes with preperimetric glaucoma, and eyes with early glaucoma. *Jpn J Ophthalmol* 2014;58(3):244-251
- 4 Cho JW, Sung KR, Lee S, et al. Relationship between visual field sensitivity and macular ganglion cell complex thickness as measured by spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(12):6401-6407
- 5 Tan O, Chopra V, Lu AT, et al. Detection of macular ganglion cell loss in glaucoma by Fourier-domain optical coherence tomography. *Ophthalmology* 2009;116(12):2305-2314
- 6 Rao HL, Babu JG, Addepalli UK, et al. Retinal nerve fiber layer and macular inner retina measurements by spectral domain optical coherence tomograph in Indian eyes with early glaucoma. *Eye (Lond)* 2012;26(1):133-139
- 7 Leung CK, Chan WM, Yung WH, et al. Comparison of macular and

- peripapillary measurements for the detection of glaucoma: an optical coherence tomography study. *Ophthalmology* 2005;112(3):391-400
- 8 Wollstein G, Schuman JS, Price LL, et al. Optical coherence tomography(OCT) macular and peripapillary retinal nerve fiber layer measurements and automated visual fields. *Am J Ophthalmol* 2004;138(2):218-225
- 9 韩月圣,魏文斌. 糖尿病性黄斑水肿视网膜微结构SD-OCT改变研究进展. *国际眼杂志* 2015;15(4):625-629
- 10 Sung MS, Kang BW, Kim HG, et al. Clinical Validity of Macular Ganglion Cell Complex by Spectral Domain - Optical Coherence Tomography in Advanced Glaucoma. *J Glaucoma* 2014 ;23(6):341-346
- 11 Wong JJ, Chen TC, Shen LQ, et al. Macular imaging for glaucoma using spectral-domain optical coherence tomography: a review. *Semin Ophthalmol* 2012;27(5-6):160-166
- 12 Ishikawa H, Stein DM, Wollstein G, et al. Macular segmentation with optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46(6):2012-2017
- 13 Tan O, Li G, Lu AT, et al. Mapping of macular substructures with optical coherence tomography for glaucoma diagnosis. *Ophthalmology* 2008;115(6):949-956
- 14 Ng DS, Gupta P, Tham YC, et al. Repeatability of perimacular ganglion cell complex analysis with spectral-domain optical coherence tomography. *J Ophthalmol* 2015;2015:605940
- 15 Schulze A, Lamparter J, Pfeiffer N, et al. Diagnostic ability of retinal ganglion cell complex, retinal nerve fiber layer, and optic nerve head measurements by Fourier-domain optical coherence tomography. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2011;249(7):1039-1045
- 16 Seong M, Sung KR, Choi EH, et al. Macular and peripapillary retinal nerve fiber layer measurements by spectral domain optical coherence tomography in normal-tension glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(3):1446-1452
- 17 Lee KS, Lee JR, Na JH, et al. Usefulness of macular thickness derived from spectral-domain optical coherence tomography in the detection of glaucoma progression. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2013;54(3):1941-1949
- 18 Kim NR, Lee ES, Seong GJ, et al. Structure-function relationship and diagnostic value of macular ganglion cell complex measurement using Fourier-domain OCT in glaucoma. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010;51(9):4646-4651
- 19 Chen J, Huang H, Wang M, et al. Fourier domain OCT measurement of macular, macular ganglion cell complex, and peripapillary RNFL thickness in glaucomatous Chinese eyes. *Eur J Ophthalmol* 2012;22(6):972-979
- 20 Moreno PA, Konno B, Lima VC, et al. Spectral-domain optical coherence tomography for early glaucoma assessment: analysis of macular ganglion cell complex versus peripapillary retinal nerve fiber layer. *Can J Ophthalmol* 2011;46(6):543-547
- 21 Fang Y, Pan YZ, Li M, et al. Diagnostic capability of Fourier-Domain optical coherence tomography in early primary open angle glaucoma. *Chin Med J (Engl)* 2010;123(15):2045-2050
- 22 Shoji T, Nagaoka Y, Sato H, et al. Impact of high myopia on the performance of SD-OCT parameters to detect glaucoma. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2012;250(12):1843-1849
- 23 Nakano N, Hangai M, Noma H, et al. Macular imaging in highly myopic eyes with and without glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2013;156(3):511-523
- 24 Kim NR, Lee ES, Seong GJ, et al. Comparing the ganglion cell complex and retinal nerve fibre layer measurements by Fourier domain OCT to detect glaucoma in high myopia. *Br J Ophthalmol* 2011;95(8):1115-1121
- 25 Leung CK, Chan WM, Hui YL, et al. Analysis of retinal nerve fiber

layer and optic nerve head in glaucoma with different reference plane offsets, using optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2005;46(3):891-899

26 Mori S, Hangai M, Sakamoto A, *et al.* Spectral-domain optical coherence tomography measurement of macular volume for diagnosing glaucoma. *J Glaucoma* 2010;19(8):528-534

27 Boling W, WuDunn D, Cantor LB, *et al.* Correlation between macular thickness and glaucomatous visual fields. *J Glaucoma* 2012;21(8):505-509

28 樊宁,黄丽娜,何靖,等. 频域 OCT 检测青光视网膜神经节细胞复合体厚度的研究. *中国实验眼科杂志* 2012;30(8):743-747

29 Inuzuka H, Kawase K, Yamada H, *et al.* Macular ganglion cell complex thickness in glaucoma with superior or inferior visual hemifield defects. *J Glaucoma* 2014;23(3):145-149

30 刘是,杨建刚,邢淑惠. RNFL 和 GCC 在早期慢性原发性闭角型青光眼诊断的临床意义. *国际眼科杂志* 2015;15(8):1392-1394

31 Wang M, Hood DC, Cho JS, *et al.* Measurement of local retinal ganglion cell layer thickness in patients with glaucoma using frequency-domain optical coherence tomography. *Arch Ophthalmol* 2009;127(7):875-881

32 Kotowski J, Folio LS, Wollstein G, *et al.* Glaucoma discrimination of segmented cirrus spectral domain optical coherence tomography (SD-OCT) macular scans. *Br J Ophthalmol* 2012;96(11):1420-1425

33 Takayama K, Hangai M, Durbin M, *et al.* A novel method to detect local ganglion cell loss in early glaucoma using spectral-domain optical coherence tomography. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2012;53(11):6904-6913

34 Kimura Y, Hangai M, Matsumoto A, *et al.* Macular structure parameters as an automated indicator of paracentral scotoma in early

glaucoma. *Am J Ophthalmol* 2013;156(5):907-917

35 Mwanza JC, Durbin MK, Budenz DL, *et al.* Glaucoma diagnostic accuracy of ganglion cell-inner plexiform layer thickness: comparison with nerve fiber layer and optic nerve head. *Ophthalmology* 2012;119(6):1151-1158

36 Kita Y, Kita R, Takeyama A, *et al.* Ability of optical coherence tomography-determined ganglion cell complex thickness to total retinal thickness ratio to diagnose glaucoma. *J Glaucoma* 2013;22(9):757-762

37 Holló G, Naghizadeh F, Vargha P. Accuracy of macular ganglion-cell complex thickness to total retina thickness ratio to detect glaucoma in white Europeans. *J Glaucoma* 2014;23(8):e132-137

38 Gracitelli CP, Abe RY, Medeiros FA. Medeiros, spectral-domain optical coherence tomography for glaucoma diagnosis. *Open Ophthalmol J* 2015;9:68-77

39 张蓉,陈伟. OCT 黄斑区厚度测量对青光眼早期诊断的研究. *国际眼科纵览* 2014;38(5):305-308

40 Sung KR, Wollstein G, Kim NR, *et al.* Macular assessment using optical coherence tomography for glaucoma diagnosis. *Br J Ophthalmol* 2012;96(12):1452-1455

41 Jia Y, Morrison JC, Tokayer J, *et al.* Quantitative OCT angiography of optic nerve head blood flow. *Biomed Opt Express* 2012;3(12):3127-3137

42 Jia Y, Wei E, Wang X, *et al.* Optical coherence tomography angiography of optic disc perfusion in glaucoma. *Ophthalmology* 2014;121(7):1322-1332

43 Wang X, Jiang C, Ko T, *et al.* Correlation between optic disc perfusion and glaucomatous severity in patients with open-angle glaucoma: an optical coherence tomography angiography study. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2015;253(9):1557-1564