

正常人黄斑区视网膜各层容积的测定及其影响因素分析

阮建祥 封利霞 陈玲

230022 合肥,安徽医科大学第一附属医院眼科(阮建祥、封利霞);244000 安徽省铜陵市,铜陵市人民医院眼科(陈玲)

通信作者:封利霞,Email:lixiafeng@163.com

DOI:10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2017.11.014

【摘要】 **背景** 正常人的视网膜组织形态和生理功能受年龄、性别、眼轴长度(AL)等因素的影响,但黄斑区视网膜分层容积是否受年龄、性别和 AL 影响的量化分析较少,了解相关信息可为相关的临床研究提供参考依据。 **目的** 采用频域光相干断层扫描(OCT)仪对正常人黄斑区视网膜各层容积进行测量,分析年龄、性别和 AL 对视网膜各层容积的影响。 **方法** 采用横断面研究方法,于 2016 年 4—7 月纳入在铜陵市人民医院体检且经裂隙灯显微镜和 90 D 前置镜检查、RM-8000A 型电脑自动验光仪和非接触眼压计测定证实眼部正常的受检者 92 人 134 眼。将受检者按照不同性别分为 2 个组,并按照年龄不同分为 7~14 岁组、15~49 岁组和 50~80 岁组。采用 Spectral-OCT 仪在 Posterior Pole 模式下对黄斑中心凹为中心、直径为 6 mm 圆形区域内的视网膜厚度进行测量,并获取黄斑区视网膜各层容积;采用 ODM-2100 型 A/B 超声仪测量 AL。 **结果** 男性黄斑区视网膜全层(WRL)、视网膜神经纤维层(RNFL)、内核层(INL)和外丛状层(OPL)容积分别为(8.80±0.38)、(0.92±0.09)、(1.03±0.07)和(0.79±0.07)mm³,较女性的(8.66±0.34)、(0.88±0.07)、(1.00±0.07)和(0.77±0.06)mm³明显增厚,差异均有统计学意义($P=0.025, 0.027, 0.012, 0.030$)。3 个年龄组中 15~49 岁组受检者黄斑区 WRL、节细胞层(GCL)、和内丛状层(IPL)黄斑区容积最大,7~14 岁组最小,7~14 岁组和 50~80 岁组黄斑区 RNFL、外核层(ONL)、视网膜色素上皮(RPE)和光感受器层(PC)容积均小于 15~49 岁组,差异均有统计学意义(均 $P<0.01$)。受检者 AL 与黄斑区 WRL、GCL、IPL 容积均呈线性负相关($r=-0.226, -0.385, -0.373$, 均 $P<0.01$)。 **结论** 正常男性黄斑区视网膜容积较女性增厚,儿童到老年期间黄斑区视网膜容积呈先增加后减少的趋势,AL 与黄斑区视网膜容积呈负相关。

【关键词】 光相干断层扫描; 视网膜; 生物测量; 影响因素; 人

The measurement of macular intraretinal layer volume and its influence factors in normal subjects Ruan

Jianxiang, Feng Lixia, Chen Ling

Department of Ophthalmology, Affiliated First Hospital of Anhui Medical University, Hefei 230022, China (Ruan JX, Feng LX); Department of Ophthalmology, Tongling People's Hospital, Tongling 244000, China (Chen L)

Corresponding author: Feng Lixia, Email: lixiafeng@163.com

[Abstract] **Background** The histopathological and functional changes are affected by age, gender and axial length (AL). However, whether these factors affect the volume and thickness of various layers of retina is not elucidated. Understanding macular intraretinal layer volume changes and influence factors can offer useful information for relevant clinical study. **Objective** This study was to measure the influence of age, gender and AL on the volume of individual retinal layers at macula zone with optical coherence tomography (OCT) in normal population.

Methods A cross-sectional study was carried out under the approval of Ethic Committee of Tongling People's Hospital. One hundred and thirty-four eyes of 92 healthy individuals who received physical examinations and ocular examinations by slit lamp microscope, 90 D pre-set lens, RM-8000A computer automatic optometry and non-contact tomometer were recruited from April to July 2016. The individuals were grouped based on gender or ages (7-14 years group, 15-49 years group, 50-80 years group). The retinal thickness and volume of different layers within 6 mm circle area around fovea were measured by Spectral-OCT with Posterior Pole mode and processed by the layered software. AL was measured with ODM-2100 A/B ultrasonic apparatus. **Results** The volume values of whole retinal thickness (WRL), retinal nerve fiber layer (RNFL), inner nuclear layer (INL) and outer plexiform layer (OPL) in males were (8.80±0.38), (0.92±0.09), (1.03±0.07) and (0.79±0.07) mm³, which were significantly increased in

comparison with (8.66 ± 0.34) , (0.88 ± 0.07) , (1.00 ± 0.07) and (0.77 ± 0.06) mm³ in females ($P = 0.025$, 0.027 , 0.012 , 0.030). The WRL, GCL and IPL volume values were largest in the 15–49 years group and least in the 7–14 years group, and the volume values of RNFL, outer nuclear layer (ONL), retinal pigment epithelium (RPE) and photoreceptors (PC) were significantly lower in the 7–14 years group and 50–80 years group than those in the 15–49 years group (all at $P < 0.01$). The AL was negatively correlated with WRL, GCL and IPL volumes ($r = -0.226$, -0.385 , -0.373 , all at $P < 0.01$). **Conclusions** The retinal volume value at macular area is larger in men than that in women. The retinal volume area shows firstly increased and then decreased during aging. The AL shows a negative correlation with the macular volume.

[Key words] Tomography, optical coherence; Retina; Biometry; Influence factors; Human

多种眼底疾病最终都伴随有视网膜的形态学变化,但早期视网膜形态学变化不明显时采用相应的方法及时对视网膜进行定量分析对于疾病的早期干预至关重要。有研究指出年龄、性别和眼轴可能影响视网膜厚度,从而影响定量分析结果^[1-3],而三者对视网膜各层厚度有无影响或影响是否相同则较少有研究涉及。光相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)作为一种无创、准确、客观的眼科检查仪器,在眼底疾病的诊断中发挥重要作用,具有高分辨率,是活体视网膜定量分析的主要仪器。黄斑容积测量是一种黄斑区厚度地图分析指标,可直接反映出黄斑区视网膜的厚度变化。但目前关于正常人黄斑区视网膜厚度检测资料尚少见。本研究拟采用高分辨率 OCT 以及图像自动分层软件客观、准确地对视网膜各层容积进行分层测量。

1 资料与方法

1.1 一般资料

采用横断面研究方法,选取 2016 年 4—7 月于铜陵市人民医院体检的正常人 132 名,根据纳入标准入选 92 人 134 眼,眼别不限。受检者按年龄分为 7~14 岁组 28 人 34 眼,15~49 岁组 35 人 65 眼,50~80 岁组 29 人 35 眼。共纳入男 47 人 71 眼,女 45 人 63 眼。纳入标准:年龄 7~80 岁;最佳矫正视力 ≥ 5.0 ;裂隙灯显微镜检查证实屈光间质透明,90 D 前置镜下能清晰看到眼底;眼底检查未发现异常;眼位正常,固视好,能配合检查;非接触眼压计测量眼压 ≤ 21 mmHg ($1 \text{ mmHg} = 0.133 \text{ kPa}$),眼轴长度为 21.8~26.8 mm,等效球镜度为 $-6.00 \sim +1.00 \text{ D}$ 。排除标准:既往有弱视、眼底疾病及眼部手术史;有糖尿病、高血压、自身免疫性疾病等影响眼底的疾病史;不能配合检查;拍摄的图像不清晰,计算机无法进行图像自动分层;图像拍摄的中心不在黄斑中心凹。所有检查由同一位操作熟练的医师完成,检查前均履行告知义务,取得患者或其监护人同意。本研究通过铜陵市人民医院伦理委员会批

准(批文号:2016015)。

1.2 方法

1.2.1 眼科检查 受检者行裂隙灯显微镜(苏州六六视觉科技股份有限公司)检查前后节屈光间质并联合 90 D 前置镜(美国 VOLK 公司)检查后极部视网膜,采用 RM-8000A 型电脑自动验光仪(日本 Topcon 公司)进行验光,采用 Spectral-OCT 仪(德国海德堡公司)测量视网膜厚度,采用 CT-80/80A 型非接触自动眼压计(日本 Topcon 公司)测定眼压,采用 A/B 型超声仪(ODM-2100 型,天津迈达医学科技股份有限公司)行 A 型超声测量眼轴长度(axial length, AL)。

1.2.2 OCT 测量方法 受检查者取坐位,嘱其注视仪器内部蓝色闪烁的固视点。选择 Retina 模式下的 P.P 扫描模式,图像叠加 ≥ 20 次,行以黄斑和视盘连线为中心的 3D 立体扫描。每眼扫描 3 次,保存图像最清晰及信号最好的图片。由 OCT 系统自带分层软件进行图像分层,分析视网膜内界膜(inner limiting membrane, ILM)到 Bruch 膜各层厚度(图 1),同时对出现分层误差的图片进行手动修正。在 Thickness Map 模式下按 OCT 内置 ETDRS 9 分区法^[4],选择以黄斑中心凹为中心、直径 6 mm 圆形区域内的黄斑区容积读取数据(图 2)。



图 1 OCT 下视网膜分层模式图 ILM:内界膜;RNFL:视网膜神经纤维层;GCL:神经节细胞层;IPL:内丛状层;INL:内核层;OPL:外丛状层;ELM:外界膜;PR1:光感受器内节(IS)层;PR2:光感受器外节(OS)层;RPE:视网膜色素上皮;BM:Bruch 膜

1.3 统计学方法

采用 SPSS 16.0 统计学软件进行统计学分析。本

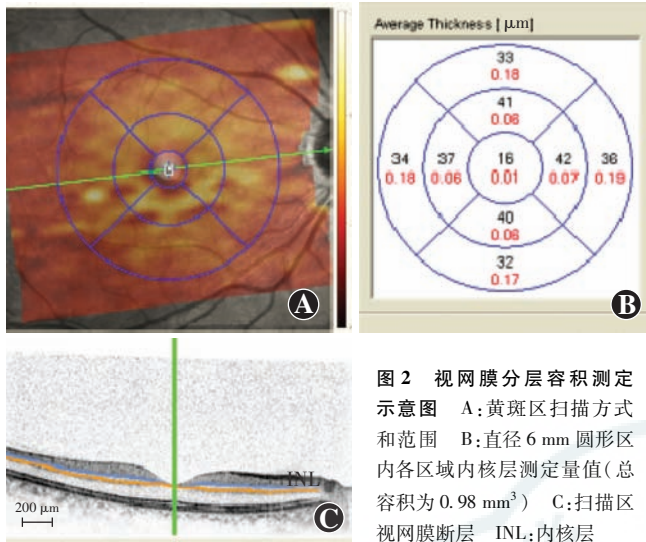


图2 视网膜分层容积测定示意图 A:黄斑区扫描方式和范围 B:直径6 mm 圆形区内各区域内核层测定量值(总容积为 0.98 mm³) C:扫描区视网膜断层 INL:内核层

研究个检测指标的数据资料用 $\bar{x} \pm s$ 表示。不同性别间各层视网膜容积的差异比较均采用独立样本 *t* 检验;3 个不同年龄组间各层视网膜容积的总体差异比较均采用单因素方差分析,组间两两比较均采用 SNK-*q* 检

验;受检者 AL 与各层视网膜容积关系的评估采用 Pearson 直线相关分析;控制年龄和性别后 AL 与各层视网膜容积关系的评估采用偏相关分析法,并对相关系数进行假设检验。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 不同性别受检者黄斑区各层视网膜容积比较

男性黄斑区视网膜全层 (whole retinal layer, WRL)、视网膜神经纤维层 (retinal nerve fiber layer, RNFL)、内核层 (inner nuclear layer, INL) 和外丛状层 (outer plexiform layer, OPL) 容积较女性厚,差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$),不同性别间神经节细胞层 (ganglion cell layer, GCL)、内丛状层 (inner plexiform layer, IPL)、外核层 (outer nuclear layer, ONL)、视网膜色素上皮 (retinal pigment epithelium, RPE) 和光感受器层 (photoreceptors, PC) 容积的差异均无统计学意义 (均 $P > 0.05$) (表 1)。

表 1 不同性别黄斑区各层视网膜容积比较 ($\bar{x} \pm s, \text{mm}^3$)

性别	眼数	不同层面视网膜容积								
		WRL	RNFL	GCL	IPL	INL	OPL	ONL	RPE	PC
男	71	8.80±0.38	0.92±0.09	1.17±0.08	0.95±0.06	1.03±0.07	0.79±0.07	1.73±0.20	0.37±0.03	2.21±0.05
女	63	8.66±0.34	0.88±0.07	1.15±0.08	0.94±0.08	1.00±0.07	0.77±0.06	1.72±0.14	0.36±0.03	2.19±0.05
<i>t</i> 值		2.271	2.230	1.880	1.364	2.546	2.189	0.159	1.746	1.297
<i>P</i> 值		0.025	0.027	0.062	0.175	0.012	0.030	0.874	0.083	0.197

注:(独立样本 *t* 检验) WRL:视网膜全层;RNFL:视网膜神经纤维层;GCL:神经节细胞层;IPL:内丛状层;INL:内核层;OPL:外丛状层;ONL:外核层;RPE:视网膜色素上皮;PC:光感受器层

2.2 不同年龄组受检者黄斑区各层视网膜容积比较

7~14 岁组和 50~80 岁组和 15~49 岁组 WRL、RNFL、神经节细胞层 (ganglion cell layer, GCL)、内丛状层 (inner plexiform layer, IPL)、外核层 (outer nuclear layer, ONL)、视网膜色素上皮 (retinal pigment epithelium, RPE) 层和光感受器层 (photoreceptors, PC)

黄斑区容积总体比较差异均有统计学意义,其中 7~14 岁组和 50~80 岁组上述各指标测定值均小于 15~49 岁组,差异均有统计学意义 (均 $P < 0.05$)。15~49 岁组受检者黄斑区 WRL 容积、GCL 容积和 IPL 容积最大,7~14 岁组最小 (表 2)。

表 2 不同年龄组黄斑区各层视网膜容积比较 ($\bar{x} \pm s, \text{mm}^3$)

组别	眼数	不同层面视网膜容积								
		WRL	RNFL	GCL	IPL	INL	OPL	ONL	RPE	PC
7—14 岁组	34	8.50±0.25 ^{ab}	0.87±0.06 ^a	1.11±0.07 ^{ab}	0.91±0.05 ^{ab}	1.00±0.04	0.77±0.08	1.65±0.14 ^a	0.35±0.02 ^a	2.18±0.04 ^a
15—49 岁组	65	8.90±0.39	0.93±0.10	1.19±0.08	0.97±0.06	1.02±0.08	0.79±0.07	1.78±0.02	0.38±0.02	2.23±0.05
50—80 岁组	35	8.67±0.26 ^a	0.88±0.07	1.16±0.05 ^a	0.94±0.04 ^a	1.03±0.07	0.78±0.05	1.70±0.03 ^a	0.36±0.04 ^a	2.18±0.06 ^a
<i>F</i> 值		17.304	6.824	15.122	11.991	2.378	0.509	6.526	11.377	13.925
<i>P</i> 值		0.000 ^a	0.002 ^b	0.000 ^a	0.000 ^a	0.097	0.602	0.002 ^b	0.000 ^b	0.000 ^b

注:与 15—49 岁组比较,^a $P < 0.05$;与 50—80 岁组比较,^b $P < 0.05$ (单因素方差分析,SNK-*q* 检验) WRL:视网膜全层;RNFL:视网膜神经纤维层;GCL:神经节细胞层;IPL:内丛状层;INL:内核层;OPL:外丛状层;ONL:外核层;RPE:视网膜色素上皮;PC:光感受器层

2.3 受检者 AL 与黄斑区视网膜容积的关系

AL 与黄斑区 WRL、GCL、IPL 容积呈线性负相关 ($r = -0.193$ 、 -0.338 、 -0.336 , 均 $P < 0.05$)。在控制年龄和性别的影响后, 受检者 AL 与 WRL、GCL、IPL 容积呈线性负相关 ($r = -0.226$ 、 -0.385 、 -0.373 , 均 $P < 0.05$) (表 3, 图 3)。

表 3 AL 与黄斑区各层视网膜容积相关性

视网膜分层	眼数	直线相关		偏相关	
		r 值	P 值	r 值	P 值
WRL	134	-0.193	0.038	-0.226	0.016
RNFL	134	0.115	0.219	0.100	0.292
GCL	134	-0.338	0.000	-0.385	0.000
IPL	134	-0.336	0.000	-0.373	0.000
INL	134	-0.108	0.247	-0.107	0.256
OPL	134	-0.009	0.925	-0.075	0.428
ONL	134	-0.104	0.266	-0.094	0.318
RPE	134	-0.090	0.337	-0.077	0.413
PC	134	-0.033	0.723	-0.013	0.892

注: AL: 眼轴长度; WRL: 视网膜全层; RNFL: 视网膜神经纤维层; GCL: 神经节细胞层; IPL: 内丛状层; INL: 内核层; OPL: 外丛状层; ONL: 外核层; RPE: 视网膜色素上皮; PC: 光感受器层 (Pearson 直线相关分析, 偏相关分析)

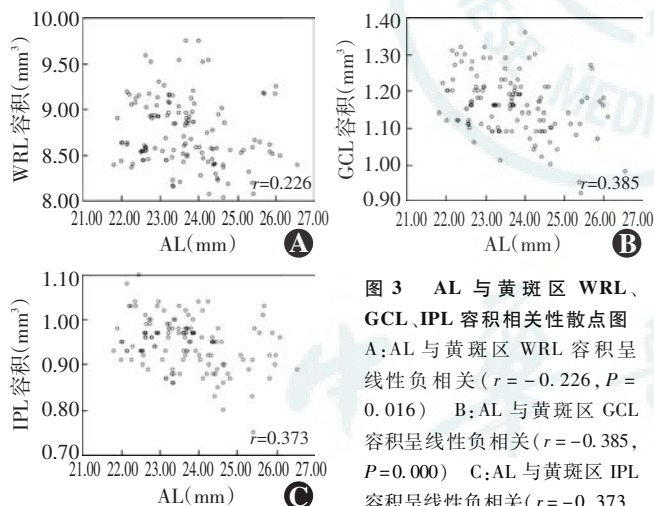


图 3 AL 与黄斑区 WRL、GCL、IPL 容积相关性散点图 A: AL 与黄斑区 WRL 容积呈线性负相关 ($r = -0.226$, $P = 0.016$) B: AL 与黄斑区 GCL 容积呈线性负相关 ($r = -0.385$, $P = 0.000$) C: AL 与黄斑区 IPL 容积呈线性负相关 ($r = -0.373$, $P = 0.000$) (偏相关分析, $n = 134$) AL: 眼轴长度; WRL: 视网膜全层; GCL: 神经节细胞层; IPL: 内丛状层

3 讨论

3.1 OCT 测量与黄斑分区

OCT 可在活体进行高分辨的视网膜组织形态和定量测定, 其断层图像与组织病理学结果相近, 相关的比较研究证实频域 OCT 具有类似石蜡切片样清晰的组织结构形态特点^[5], 广泛运用于临床眼底病诊断。海德堡 Spectralis-OCT 为红外激光, 波长为 870 nm, 扫

描速度 40 000 Hz/s, 分辨率为 3.87 μm , 分析软件版本为 6.0.12.0, 基于像素分级分析原理, 精确度高, 能对视网膜各层进行分割测量并用色彩标示测量组织的厚度^[6], 运用厚度地图模式, 可以显示各区域视网膜的平均厚度和区域内视网膜容积。

ETDRS 分区是早期糖尿病视网膜病变研究组建立的黄斑区域划分方法, 包括中心凹外直径 1、3 和 6 mm 的 3 个同心圆, 即中央区、内环区和外环区。按照 ETDRS 分区, 黄斑部周围 6 mm 以内的区域可包括整个黄斑区视网膜范围, 因此能反映整体黄斑区视网膜的容积。黄斑区病变出现视网膜厚度增加同时伴有病变面积的增大时, 单纯黄斑区视网膜厚度就不足以完全描述病变的实际形态变化, 而视网膜容积则能够更好地描述病变形态并进行定量比较。本研究测定的是正常人以黄斑中心凹为中心的直径 6 mm 圆内的黄斑区视网膜厚度, 此区域内容积变化趋势即可反映整体视网膜厚度的变化趋势。

3.2 正常人性别与黄斑区视网膜分层容积

本研究表明男性的后极部视网膜较女性增厚, 主要是不同性别间 RNFL、INL 和 OPL 厚度的差异而引起, 其他各分层无明显差异。Adhi 等^[7]的研究表明黄斑区视网膜平均厚度存在性别差异, 男性黄斑区视网膜平均厚度较女性更厚, 与本研究结果相符。Myers 等^[8]认为从男性测得的 ETDRS 分区的视网膜内环和中心区视网膜较女性厚, 刘丹等^[9]、张丛等^[10]和 Yanni 等^[11]分别对 3~6 岁、6~12 岁和 5~15 岁儿童进行测量, 均发现不同性别受检者黄斑区 WRL 厚度存在差异, 提示从儿童时期开始 RNFL、INL 和 OPL 层厚度即存在性别差异。

3.3 正常人年龄与黄斑区视网膜分层容积

本研究表明黄斑区视网膜分层容积在不同年龄段是有变化的。从儿童到老年间黄斑区 WRL、RNFL、GCL、IPL、ONL、RPE 层和 PC 层容积呈先增加再减少的趋势, 可能与生长发育和老化过程有关。Demirkaya 等^[12]按照 ETDRS 分区法将黄斑区视网膜分为中央区、旁中央区和外环区, 并研究各区域内各层视网膜厚度与年龄的关系, 认为年龄与旁中央区 GCL、外环区 IPL、中央区外层视网膜厚度均呈线性负相关, 而与中央区 RPE 层厚度呈正相关, 考虑上述变化均与衰老过程有关。陈吉利等^[13]研究发现 40 岁以上人群 RNFL 厚度与年龄呈负相关, Curcio 等^[14]对 40~90 岁供体视网膜厚度进行组织学检查和 OCT 测量, 发现成年人视网膜神经感觉层厚度随年龄变化并未发生明显改变, 部分老年人光感受器内节层变薄, RPE 层随着年龄的增加而变薄, 推测可能是年龄相关性黄斑变性发

病机制之一,但该研究发现 OPL 却逐渐增厚,推测可能与老化和急性慢性损伤引起应激反应,导致 Müller 细胞增生,OPL 厚度增加,这与本研究部分结果有所不同,可能与该研究测量的黄斑区范围较小有关。Subhi 等^[15]对 49 个研究组的测量结果进行回顾性分析,发现年龄的增长会导致整个黄斑区视网膜厚度和容积的减少,并且在视网膜的不同层次和黄斑的不同区域这些变化有所不同。因此,年龄对视网膜各层的影响可能是不均衡的,部分层次对年龄变化比较敏感,如 RNFL、GCL、IPL、ONL、RPE 和 PC 层出现先增厚后变薄,而在无明显视网膜疾病眼 INL 和 OPL 厚度随年龄改变无明显变化。

3.4 AL 与黄斑区视网膜分层容积

Szigeti 等^[16]对 AL 与黄斑区视网膜各层厚度的关系进行研究,发现 WRL 厚度与 AL 呈负相关,而 RNFL、RPE、GCL 厚度与 AL 无明显相关性,AL 与 ETDRS 分区的外环区 GCL+IPL、INL、OPL、ONL 厚度呈明显负相关。本研究发现 AL 与黄斑区 WRL、GCL、IPL 容积均呈负相关,与 Szigeti 等^[16]的研究结果一致,认为可能为 AL 的增加导致 GCL、IPL 层细胞由于发生牵拉分离而重新分布所致。本研究中测得的 INL、OPL、ONL 层容积与 Szigeti 等^[16]的结果不同,可能为本研究测得的视网膜黄斑区直径 6 mm 的全区容积与 Szigeti 等^[16]所测外环区范围不一致有关。

本研究采用频域 OCT 对正常人黄斑区视网膜容积进行了测量,为相关的临床研究提供了参考依据,但本研究尚存在不足之处,一是计算机自动分层即便经过了必要的手动矫正也可能存在较小的误差,二是本研究是通过询问病史和眼部体检纳入的正常人群,不能完全排除影响视网膜厚度的隐匿病变的存在,同时,本研究为基于一个医院的横断面调查,纳入的样本量在反映总体人群方面存在一定的局限性。因此本研究结果仍需要多地点、大样本视网膜分层研究加以验证。

综上所述,本研究发现正常人男性黄斑区 WRL、RNFL、INL 和 OPL 容积均较女性厚;黄斑区视网膜各层容积在不同年龄阶段可发生变化,WRL、RNFL、GCL、IPL、ONL、RPE 和 PC 层容积从儿童、成年到老年呈现先增加后减少的趋势;AL 增加可导致黄斑区 GCL 和 IPL 容积减少。视网膜各层容积的变化受性别、年龄和 AL 的影响,且视网膜各层变化并不一致,因此临床上在对视网膜各层容积进行测量时应考虑性别、年龄和 AL 的影响。

参考文献

[1] Tewari HK, Wagh VB, Sony P, et al. Macular thickness evaluation using

- the optical coherence tomography in normal Indian eyes [J]. *Indian J Ophthalmol*, 2004, 52(3): 199-204.
- [2] Knight OJ, Girkin CA, Budenz DL, et al. Effect of race, age, and axial length on optic nerve head parameters and retinal nerve fiber layer thickness measured by Cirrus HD-OCT [J]. *Arch Ophthalmol*, 2012, 130(3): 312-318. DOI: 10.1001/archophthalmol.2011.1576.
- [3] Ziyilan S, Kiziloglu OY, Yenerel NM, et al. Macular thickness in highly myopic children aged 3 to 7 years [J]. *J Pediatr Ophthalmol Strabismus*, 2015, 52(5): 282-286. DOI: 10.3928/01913913-20150526-01.
- [4] Early Treatment Diabetic Retinopathy Study Research Group. Grading diabetic retinopathy from stereoscopic color fundus photographs - an extension of the modified Airle House classification. ETDRS report number 10. [J]. *Ophthalmology*, 1991, 98(5 Suppl): 786-806.
- [5] 刘璐, 莫宾, 焦剑, 等. 组织病理学切片与频域 OCT 对大鼠视网膜组织形态的对比研究 [J]. *眼科*, 2013, 22(5): 344-348.
- Liu L, Mo B, Jiao J, et al. Evaluation of rat retina by histopathological examination and spectral domain high-resolution optical coherence tomography [J]. *Ophthalmol CHN*, 2013, 22(5): 344-348.
- [6] Vermeer KA, van der Schoot J, Lemij HG, et al. Automated segmentation by pixel classification of retinal layers in ophthalmic OCT images [J]. *Biomed Opt Express*, 2011, 2(6): 1743-1756. DOI: 10.1364/BOE.2.001743.
- [7] Adhi M, Aziz S, Muhammad K, et al. Macular thickness by age and gender in healthy eyes using spectral domain optical coherence tomography [J/OL]. *PLoS One*, 2012, 7(5): e37638 [2016-07-01]. <http://journals.plos.org/plosone/article?doi=10.1371/journal.pone.0037638>. DOI: 10.1371/journal.pone.0037638.
- [8] Myers CE, Klein BE, Meurer SM, et al. Retinal thickness measured by spectral-domain optical coherence tomography in eyes without retinal abnormalities: the Beaver Dam Eye Study [J]. *Am J Ophthalmol*, 2015, 159(3): 445-456. DOI: 10.1016/j.ajo.2014.11.025.
- [9] 刘丹, 王小娟, 李逸群, 等. 学龄前儿童黄斑厚度与眼轴长度及屈光状态的相关性 [J]. *眼科新进展*, 2012, 32(2): 149-151.
- Liu D, Wang XJ, Li YQ, et al. Relationship of axial length and refraction with macular thickness in preschool children [J]. *Rec Adv Ophthalmol*, 2012, 32(2): 149-151.
- [10] 张丛, 李倩, 刘武, 等. 频域 OCT 测量正常学龄期儿童黄斑区视网膜厚度 [J]. *眼科新进展*, 2015, 35(2): 180-182. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2015.0049.
- Zhang C, Li Q, Liu W, et al. Macular retinal thickness in normal school-age children assessed with spectral domain optical coherence tomography [J]. *Recent Advances in Ophthalmology*, 2015, 35(2): 180-182. DOI: 10.13389/j.cnki.rao.2015.0049.
- [11] Yanni SE, Wang J, Cheng CS, et al. Normative reference ranges for the retinal nerve fiber layer, macula, and retinal layer thicknesses in children [J]. *Am J Ophthalmol*, 2013, 155(2): 354-360. e1. DOI: 10.1016/j.ajo.2012.08.010.
- [12] Demirkaya N, van Dijk HW, van Schuppen SM, et al. Effect of age on individual retinal layer thickness in normal eyes as measured with spectral-domain optical coherence tomography [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2013, 54(7): 4934-4940. DOI: 10.1167/iovs.13-11913.
- [13] 陈吉利, 陈振瑶, 周兰, 等. 正常人黄斑区视网膜神经纤维层 OCT 光学特征与年龄的关系 [J]. *中华实验眼科杂志*, 2015, 33(5): 461-465. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.05.015.
- Chen JL, Chen BY, Zhou L, et al. Correlations between optical parameters of retinal nerve fiber layer measured by optical coherence tomography and age in normal population [J]. *Chin J Exp Ophthalmol*, 2015, 33(5): 461-465. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2015.05.015.
- [14] Curcio CA, Messinger JD, Sloan KR, et al. Human chorioretinal layer thicknesses measured in macula-wide, high-resolution histologic sections [J]. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 2011, 52(7): 3943-3954. DOI: 10.1167/iovs.10-6377.
- [15] Subhi Y, Forshaw T, Sørensen TL. Macular thickness and volume in the elderly: A systematic review [J]. *Ageing Res Rev*, 2016, 29: 42-49. DOI: 10.1016/j.arr.2016.05.013.
- [16] Szigeti A, Tátrai E, Varga BE, et al. The effect of axial length on the thickness of intraretinal layers of the macula [J/OL]. *PLoS One*, 2015, 10(11): e0142383 [2016-06-12]. <http://journals.plos.org/plosone/article?doi=10.1371/journal.pone.0142383>. DOI: 10.1371/journal.pone.0142383.

(收稿日期: 2016-12-27 修回日期: 2017-09-30)

(本文编辑: 张荻)