

## · 临床研究 ·

## 两种频域眼前节 OCT 测量角膜厚度和角膜上皮厚度的差异和一致性比较

王闯 王浩 庞辰久

河南大学人民医院眼科 河南省人民医院 河南省立眼科医院, 郑州 450003

通信作者: 庞辰久, Email: pangcj999@163.com

**【摘要】 目的** 比较 2 种高分辨率频域眼前节光相干断层扫描 (OCT) RTVue XR-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 测量角膜厚度和角膜上皮厚度的差异和一致性。 **方法** 采用横断面研究方法, 选取 2019 年 7—9 月于河南省立眼科医院就诊的近视及近视散光患者 52 例 52 眼, 由同一检查者分别使用 RTVue XR-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 测量角膜中央直径 0~2 mm 范围中心区 (C 区), 距角膜中央 2~5 mm 范围内上方 (S 区)、鼻上方 (SN 区)、鼻侧 (N 区)、鼻下方 (IN 区)、下方 (I 区)、颞下方 (IT 区)、颞侧 (T 区) 及颞上方 (ST 区) 的角膜厚度和角膜上皮厚度, 比较 2 种眼前节 OCT 测量相应区域的角膜厚度和角膜上皮厚度的差异, 分析其相关性和一致性。 **结果** RTVue XR-OCT 测量角膜 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区的角膜厚度分别为 ( $521.73 \pm 29.85$ )、( $554.31 \pm 32.38$ )、( $553.54 \pm 33.30$ )、( $546.96 \pm 32.05$ )、( $537.54 \pm 32.10$ )、( $532.13 \pm 31.51$ )、( $528.42 \pm 30.38$ )、( $532.25 \pm 30.08$ ) 和 ( $544.85 \pm 30.70$ )  $\mu\text{m}$ , Cirrus 5000 HD-OCT 测量的各区域角膜厚度分别为 ( $526.77 \pm 30.62$ )、( $555.13 \pm 33.32$ )、( $558.08 \pm 32.57$ )、( $554.46 \pm 31.42$ )、( $548.29 \pm 31.84$ )、( $539.69 \pm 32.74$ )、( $536.19 \pm 32.40$ )、( $533.38 \pm 31.90$ ) 和 ( $543.83 \pm 32.02$ )  $\mu\text{m}$ , 2 种 OCT 测量各个区域的角膜厚度差异均无统计学意义 (均  $P > 0.05$ ); 2 种 OCT 测量的各区域角膜厚度值均呈强的正相关 ( $r = 0.99, 0.89, 0.95, 0.97, 0.95, 0.93, 0.96, 0.97, 0.92$ , 均  $P < 0.01$ ); Bland-Altman 分析显示, 2 种 OCT 测量角膜厚度具有良好的-致性。RTVue XR-OCT 测量的各区域角膜上皮厚度分别为 ( $52.06 \pm 3.26$ )、( $52.58 \pm 3.48$ )、( $53.06 \pm 3.56$ )、( $53.75 \pm 3.49$ )、( $53.81 \pm 3.40$ )、( $53.48 \pm 3.35$ )、( $52.96 \pm 3.32$ )、( $52.67 \pm 3.19$ ) 和 ( $53.12 \pm 3.15$ )  $\mu\text{m}$ , Cirrus 5000 HD-OCT 测量结果分别为 ( $46.75 \pm 3.25$ )、( $47.40 \pm 3.36$ )、( $47.58 \pm 3.64$ )、( $48.85 \pm 4.48$ )、( $48.46 \pm 4.54$ )、( $48.40 \pm 4.96$ )、( $48.06 \pm 5.12$ )、( $47.46 \pm 3.91$ ) 和 ( $48.79 \pm 3.90$ )  $\mu\text{m}$ , 2 种 OCT 测量的各区域角膜上皮厚度比较差异均有统计学意义 (均  $P < 0.05$ ); 2 种 OCT 测量的各区域角膜上皮厚度均无明显相关性 ( $r = 0.17, 0.08, 0.16, 0.28, 0.20, 0.24, 0.19, 0.21, 0.13$ , 均  $P > 0.05$ ); Bland-Altman 分析显示, 2 种 OCT 测量角膜上皮厚度的一致性欠佳。 **结论** RTVue XR-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 对角膜厚度测量差异较小, 一致性较高, 可相互替代; 对角膜上皮厚度测量差异较大, 一致性较差, 不可相互替代。

**【关键词】** 角膜; 角膜上皮; 厚度; 眼前节; 光相干断层扫描; 差异性; 一致性

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20210209-00104

**Differences in corneal thickness and corneal epithelial thickness measured by two kinds of frequency domain anterior segment OCT and the consistency between them**

Wang Chuang, Wang Hao, Pang Chenjiu

Department of Ophthalmology, People's Hospital of Henan University, Henan Provincial People's Hospital, Henan Eye Hospital, Zhengzhou 450003, China

Corresponding author: Pang Chenjiu, Email: pangcj999@163.com

**[Abstract] Objective** To investigate the differences in corneal thickness and corneal epithelial thickness measurements by two kinds of high-resolution frequency domain anterior segment optical coherence tomography (OCT), RTVue XR-OCT and Cirrus 5000 HD-OCT, and to analyze the consistency between them. **Methods** A cross-sectional study was conducted. Fifty-two patients (52 eyes) who were admitted to Henan Eye Hospital from July to September 2019 were enrolled. The corneal thickness and corneal epithelial thickness in various areas including the central area (C area) (2-mm diameter), and 8 concentric corneal areas of 2 to 5-mm diameter, which were the superior area (S area), the superior nasal (SN area), the nasal side area (N area), the inferior nasal area (IN area), the inferior area (I area), the inferior temporal area (IT area), the temporal area (T area) and the superior

temporal area (ST area) above the temporal, were measured by the same examiner using RTVue XR-OCT and Cirrus 5000 HD-OCT. The corneal thickness and corneal epithelial thickness measurements were compared to analyze the difference, correlation and consistency between the two kinds of OCT. This study adhered to the Declaration of Helsinki. The study protocol was approved by an Ethics Committee of Henan Eye Hospital (No. HNEECKY-2021 [06]). Written informed consent was obtained from each subject prior to any medical examination. **Results** The corneal thickness measured by RTVue XR-OCT in C, S, SN, N, IN, I, IT, T, ST areas were ( $521.73 \pm 29.85$ ), ( $554.31 \pm 32.38$ ), ( $553.54 \pm 33.30$ ), ( $546.96 \pm 32.05$ ), ( $537.54 \pm 32.10$ ), ( $532.13 \pm 31.51$ ), ( $528.42 \pm 30.38$ ), ( $532.25 \pm 30.08$ ), ( $544.85 \pm 30.70$ )  $\mu\text{m}$ , respectively, and the corneal thickness in the 9 areas measured by Cirrus 5000 HD-OCT were ( $526.77 \pm 30.62$ ), ( $555.13 \pm 33.32$ ), ( $558.08 \pm 32.57$ ), ( $554.46 \pm 31.42$ ), ( $548.29 \pm 31.84$ ), ( $539.69 \pm 32.74$ ), ( $536.19 \pm 32.40$ ), ( $533.38 \pm 31.90$ ), ( $543.83 \pm 32.02$ )  $\mu\text{m}$ , respectively. There was no significant difference in corneal thickness of various areas between the two kinds of OCT (all at  $P > 0.05$ ), and there were positive correlations between them ( $r = 0.99, 0.89, 0.95, 0.97, 0.95, 0.93, 0.96, 0.97, 0.92$ ; all at  $P < 0.01$ ). Bland-Altman analysis showed that there was a good consistency of corneal thickness measurements by the two kinds of OCT. The corneal epithelial thickness in C, S, SN, N, IN, I, IT, T, ST areas measured by RTVue XR-OCT were ( $52.06 \pm 3.26$ ), ( $52.58 \pm 3.48$ ), ( $53.06 \pm 3.56$ ), ( $53.75 \pm 3.49$ ), ( $53.81 \pm 3.40$ ), ( $53.48 \pm 3.35$ ), ( $52.96 \pm 3.32$ ), ( $52.67 \pm 3.19$ ), ( $53.12 \pm 3.15$ )  $\mu\text{m}$ , respectively, and the corneal epithelial thickness in the 9 areas measured by Cirrus 5000 HD-OCT were ( $46.75 \pm 3.25$ ), ( $47.40 \pm 3.36$ ), ( $47.58 \pm 3.64$ ), ( $48.85 \pm 4.48$ ), ( $48.46 \pm 4.54$ ), ( $48.40 \pm 4.96$ ), ( $48.06 \pm 5.12$ ), ( $47.46 \pm 3.91$ ), ( $48.79 \pm 3.90$ )  $\mu\text{m}$ , respectively. There were statistically significant differences in the corneal epithelial thickness of various areas measured by the two kinds of OCT (all at  $P < 0.05$ ), and there was no significant correlation between them ( $r = 0.17, 0.08, 0.16, 0.28, 0.20, 0.24, 0.19, 0.21, 0.13$ ; all at  $P > 0.05$ ). Bland-Altman analysis showed poor consistency of corneal epithelial thickness measurements between the two kinds of OCT. **Conclusions** There is no significant difference in measuring corneal thickness between the two kinds of OCT and the consistency is high, which means that they can be replaced by each other. There are significant differences in corneal epithelial thickness measurement between them and the consistency is poor, so they are not interchangeable.

**[Key words]** Cornea; Epithelium, corneal; Thickness; Anterior eye segment; Tomography, optical coherence; Difference; Consistency

DOI: 10.3760/cma.j.cn115989-20210209-00104

角膜上皮厚度并非均匀一致,角膜自身可以通过改变角膜上皮的再分布补偿基质表面的不规则。研究表明,在圆锥角膜早期,角膜上皮层即有改变,因此,对角膜上皮厚度的精确测量可以为圆锥角膜的早期诊断提供帮助<sup>[1-5]</sup>。评估角膜上皮厚度的方法有高频超声生物显微镜、激光扫描共焦显微镜以及眼前节光相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT),前两者均为接触性成像技术,增加了角膜上皮损伤和感染的风险,且因为压迫作用也影响测量的准确性。眼前节 OCT 技术是基于低相干光原理,可提供角膜的横断面影像,通过其内置的测量工具对上皮厚度进行测量,有较快的扫描速度和较高的分辨率,是一种可靠的无侵入性上皮成像方法,对患者配合程度的要求较低。目前有 RTVue XR-OCT(美国 Optovue 公司)和 Cirrus 5000 HD-OCT(德国 Carl Zeiss 公司)2 种频域眼前节 OCT 可以对角膜上皮厚度进行测量,这 2 种 OCT 均有较高的图像分辨率和较快的扫描速度,可对角膜厚度和角膜上皮厚度进行客观、定量测量<sup>[6-8]</sup>,对屈光手术适应证的筛选、手术方式选择和圆锥角膜早期诊断具

有重要意义,目前尚无这 2 种 OCT 对角膜厚度和角膜上皮厚度测量的比较研究。本研究拟采用 2 种 OCT 对近视及近视散光患者的角膜厚度和角膜上皮厚度进行测量,对 2 种仪器测量结果的差异和一致性进行比较分析,以期为临床应用提供依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 一般资料

采用横断面研究方法,连续纳入 2019 年 7—9 月于河南省立眼科医院就诊的近视及近视散光患者 52 例 52 眼,年龄 20~32 岁,其中男 18 例 18 眼,女 34 例 34 眼。纳入标准:(1)年龄 > 18 岁,2 年内屈光度数稳定(变化范围在  $\pm 0.5$  D);(2)最佳矫正视力 > 0.8,等效球镜度为  $-1.00 \sim -10.00$  D,散光度数为  $-0.00 \sim -3.00$  D;(3)泪膜破裂时间 > 10 s;(4)Schirmer 试验 I 泪液分泌量 > 10 mm/5 min。排除标准:(1)有近视及散光以外的其他眼部疾病者;(2)有系统性疾病者;(3)有角膜接触镜配戴史者;(4)有眼部感染史及角膜云翳、瘢痕者;(5)有眼部手术史或外伤史者。本研究

遵循《赫尔辛基宣言》,经河南省立眼科医院医学伦理审查委员会审核批准[批文号:HNEECKY-2021(06)],所有受检者纳入研究前均了解本研究目的和意义并签署知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 一般检查** 所有受检者均接受裸眼视力、眼压(TX-20,日本佳能公司)、综合验光(CV-5000,日本Topcon公司)、眼位、裂隙灯显微镜(SL-130,德国Carl Zeiss公司)、检眼镜(BETA200S,德国Heine公司)检查及眼轴测量(IOL Master 700,德国Carl Zeiss公司),排除眼部其他疾病,采用Pantacam眼前节分析仪(70900,美国Oculus公司)检查角膜情况。

**1.2.2 角膜及角膜上皮厚度测量** 由同一检查者分别使用RTVue XR-OCT和Cirrus 5000 HD-OCT对受试者进行检查。选取右眼作为试验眼,每次扫描间隔3~5 min,随机选取2种OCT检查顺序。(1)RTVue XR-OCT检查 安装宽角角膜适配镜头,输入受试者基本信息,嘱受试者下颌置于下颌托上,调整受试者的同视角和前后距离,使视轴与眼轴在一条直线上,确保监视屏中形成清晰的图像,采用Pachymetry扫描模式,嘱受试者直视镜头中央光点,以瞳孔正中心为扫描中心,采集得到直径6 mm范围的角膜上皮厚度图和角膜厚度图。(2)Cirrus 5000 HD-OCT检查 安装测量角膜目镜,输入受试者基本信息,嘱受试者下颌置于下颌托上并注视镜头,调节镜头与受试者眼距离及方向进行对焦,当光束通过角膜瞳孔中央时,进行角膜扫描,采集得到直径7 mm范围的角膜上皮厚度图和角膜厚度图。

**1.2.3 评估指标** 收集2种眼前节OCT测量的角膜中心直径0~2 mm范围中心区(C区),距角膜中央2~5 mm范围内上方(S区)、鼻上方(SN区)、鼻侧(N区)、鼻下方(IN区)、下方(I区)、颞下方(IT区)、颞侧(T区)及颞上方(ST区)的角膜厚度及角膜上皮厚度数据进行比较。

## 1.3 统计学方法

采用SPSS 23.0统计学软件(美国IBM公司)进行统计分析。计量资料的数据经Shapiro-Wilk检验证实呈正态分布,以 $\bar{x} \pm s$ 表示,2种OCT测量对应区域的角膜厚度和角膜上皮厚度比较采用配对 $t$ 检验,相关性分析采用Pearson相关分析,一致性比较采用Bland-Altman分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 2种OCT测量的各区域角膜厚度比较及相关性分析

2种OCT测量的C区、S区、SN区、N区、IN区、I区、IT区、T区和ST区角膜厚度比较,差异均无统计学意义(均 $P > 0.05$ )(表1)。2种OCT测量的各区域角膜厚度均呈强的正相关( $r = 0.99, 0.89, 0.95, 0.97, 0.95, 0.93, 0.96, 0.97, 0.92$ ,均 $P < 0.01$ )(图1)。

表1 2种OCT测量不同区域角膜厚度比较( $\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$ )  
Table 1 Comparison of corneal thickness in different regions between RTVue XR-OCT and Cirrus 5000

|      |    | HD-OCT ( $\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$ ) |                           | $t$ 值 | $P$ 值 |
|------|----|-----------------------------------------|---------------------------|-------|-------|
| 角膜区域 | 眼数 | RTVue XR-OCT<br>测量值                     | Cirrus 5000<br>HD-OCT 测量值 |       |       |
| C区   | 52 | 521.73 $\pm$ 29.85                      | 526.77 $\pm$ 30.62        | -0.85 | 0.40  |
| S区   | 52 | 554.31 $\pm$ 32.38                      | 555.13 $\pm$ 33.32        | -0.13 | 0.90  |
| SN区  | 52 | 553.54 $\pm$ 33.30                      | 558.08 $\pm$ 32.57        | -0.70 | 0.48  |
| N区   | 52 | 546.96 $\pm$ 32.05                      | 554.46 $\pm$ 31.42        | -1.21 | 0.23  |
| IN区  | 52 | 537.54 $\pm$ 32.10                      | 548.29 $\pm$ 31.84        | -1.72 | 0.09  |
| I区   | 52 | 532.13 $\pm$ 31.51                      | 539.69 $\pm$ 32.74        | -1.20 | 0.23  |
| IT区  | 52 | 528.42 $\pm$ 30.38                      | 536.19 $\pm$ 32.40        | -1.26 | 0.21  |
| T区   | 52 | 532.25 $\pm$ 30.08                      | 533.38 $\pm$ 31.90        | -0.19 | 0.85  |
| ST区  | 52 | 544.85 $\pm$ 30.70                      | 543.83 $\pm$ 32.02        | 0.16  | 0.87  |

注:(配对 $t$ 检验) OCT:光相干断层扫描;C区:中心区;S区:上方;SN区:鼻上方;N区:鼻侧;IN区:鼻下方;I区:下方;IT区:颞下方;T区:颞侧;ST区:颞上方

Note: (Paired  $t$ -test) OCT: optical coherence tomography; C area: central area; S area: superior area; SN area: superior nasal area; N area: nasal side area; IN area: inferior nasal area; I area: inferior area; IT area: inferior temporal area; T area: temporal area; ST area: superior temporal area

### 2.2 2种OCT测量的各区域角膜上皮厚度比较及相关性分析

2种OCT测量的C区、S区、SN区、N区、IN区、I区、IT区、T区和ST区角膜上皮厚度比较,差异均有统计学意义(均 $P < 0.01$ )(表2)。2种OCT测量的各区域角膜上皮厚度均无明显相关性( $r = 0.17, 0.08, 0.16, 0.28, 0.20, 0.24, 0.19, 0.21, 0.13$ ,均 $P > 0.05$ )。

### 2.3 2种OCT测量角膜厚度的一致性分析

Bland-Altman一致性检验结果显示,2种OCT测量C区、S区、SN区、N区、IN区、I区、IT区、T区和ST区角膜厚度值95%一致性界限(limits of agreement, LoA)分别为-15.02~4.95、-30.68~29.03、-24.21~15.13、-22.19~7.19、-31.28~9.78、-30.82~15.70、-26.69~11.15、-17.05~14.78和-23.81~25.85  $\mu\text{m}$ ,95% LoA上下限绝对值分别为19.97、59.71、39.34、29.38、41.06、46.52、37.84、31.83和49.66  $\mu\text{m}$ ,以上数值在临床上可以接受。2种OCT测量C区、S区、SN区、N区、IN区、I区、IT区、T区和ST区角膜厚度分别有50、49、49、49、49、48、50、49和

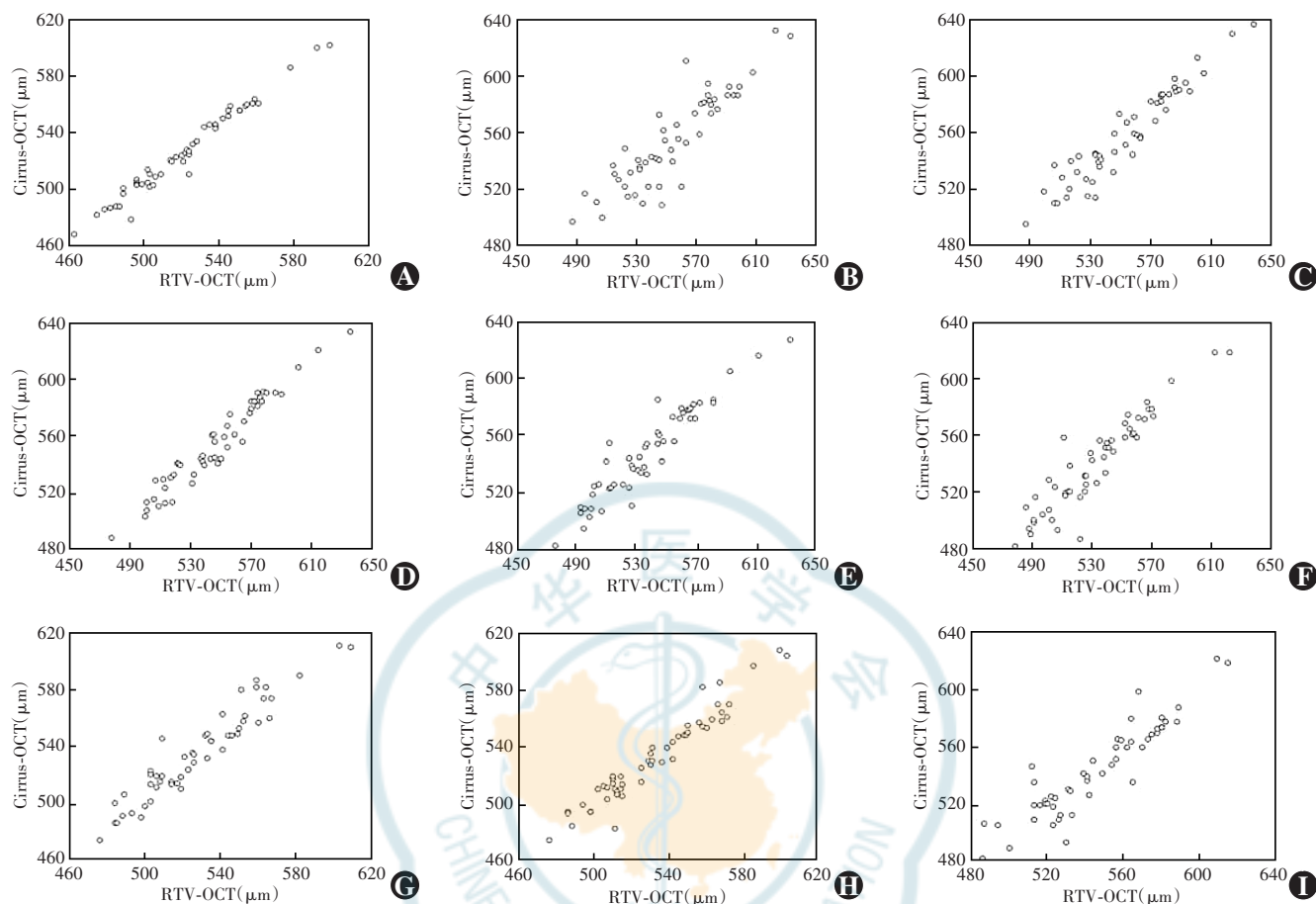


图 1 RTVue XR-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 测量各区域角膜厚度相关性分析散点图 (Pearson 相关分析,  $n=52$ ) 2 种 OCT 测量各区域角膜厚度均呈强的正相关 ( $r=0.99, 0.89, 0.95, 0.97, 0.95, 0.93, 0.96, 0.97, 0.92$ , 均  $P<0.01$ ) A~I: 2 种仪器测量 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区角膜厚度相关性分析散点图 OCT: 光相干断层扫描

Figure 1 Scatter diagram of correlation analysis of corneal thickness measured by RTVue XR-OCT and Cirrus 5000 HD OCT (Pearson correlation analysis,  $n=52$ ) The corneal thickness measured by the two kinds of OCT in each area were strongly positively correlated ( $r=0.99, 0.89, 0.95, 0.97, 0.95, 0.93, 0.96, 0.97, 0.92$ ; all at  $P<0.01$ ) A~I: Scatter diagram of correlation analysis of corneal thickness measured by the two instruments in C, S, SN, N, IN, I, IT, T and ST areas OCT: optical coherence tomography

表 2 2 种 OCT 测量不同区域角膜上皮厚度比较 ( $\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$ )

Table 2 Comparison of the corneal epithelial thickness of different regions between RTVue XR-OCT and Cirrus 5000 HD-OCT ( $\bar{x}\pm s, \mu\text{m}$ )

| 角膜区域 | 眼数 | RTVue XR-OCT<br>测量值 | Cirrus 5000<br>HD-OCT 测量值 | t 值  | P 值   |
|------|----|---------------------|---------------------------|------|-------|
| C 区  | 52 | 52.06 $\pm$ 3.26    | 46.75 $\pm$ 3.25          | 8.31 | <0.01 |
| S 区  | 52 | 52.58 $\pm$ 3.48    | 47.40 $\pm$ 3.36          | 7.71 | <0.01 |
| SN 区 | 52 | 53.06 $\pm$ 3.56    | 47.58 $\pm$ 3.64          | 7.76 | <0.01 |
| N 区  | 52 | 53.75 $\pm$ 3.49    | 48.85 $\pm$ 4.48          | 6.23 | <0.01 |
| IN 区 | 52 | 53.81 $\pm$ 3.40    | 48.46 $\pm$ 4.54          | 6.81 | <0.01 |
| I 区  | 52 | 53.48 $\pm$ 3.35    | 48.40 $\pm$ 4.96          | 6.12 | <0.01 |
| IT 区 | 52 | 52.96 $\pm$ 3.32    | 48.06 $\pm$ 5.12          | 5.79 | <0.01 |
| T 区  | 52 | 52.67 $\pm$ 3.19    | 47.46 $\pm$ 3.91          | 7.45 | <0.01 |
| ST 区 | 52 | 53.12 $\pm$ 3.15    | 48.79 $\pm$ 3.90          | 6.22 | <0.01 |

注: (配对 t 检验) OCT: 光相干断层扫描; C 区: 中央区; S 区: 上方; SN 区: 鼻上方; N 区: 鼻侧; IN 区: 鼻下方; I 区: 下方; IT 区: 颞下方; T 区: 颞侧; ST 区: 颞上方

Note: (Paired t-test) OCT: optical coherence tomography; C area: central area; S area: superior area; SN area: superior nasal area; N area: nasal side area; IN area: inferior nasal area; I area: inferior area; IT area: inferior temporal area; T area: temporal area; ST area: superior temporal area

49 眼在 95% LoA 内, 分别占 96%、94%、94%、94%、94%、92%、96%、94% 和 94%, 2 种 OCT 测量角膜厚度的一致性较好 (图 2)。

#### 2.4 2 种 OCT 测量的角膜上皮厚度一致性分析

Bland-Altman 一致性检验结果显示, 2 种 OCT 测量 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区角膜上皮厚度 95% LoA 分别为 -2.96 ~ 13.57、-3.94 ~ 14.29、-3.67 ~ 14.63、-4.61 ~ 14.41、-4.65 ~ 15.34、-5.24 ~ 15.39、-5.97 ~ 15.77、-3.59 ~ 14.01 和 -4.83 ~ 13.49  $\mu\text{m}$ , 95% LoA 上下限绝对值分别为 16.53、18.23、18.30、19.02、19.99、20.63、21.74、17.60 和 18.32  $\mu\text{m}$ , 以上数值在临床上不可以接受。2 种 OCT 测量 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区角膜上皮厚度分别有 50、49、50、49、49、50、49、49 和 50 眼在 95% LoA 内, 分别占 96%、94%、96%、94%、94%、96%、94%、94% 和 96%, 2 种 OCT 测量角膜上皮厚度的一致性较差 (图 3)。



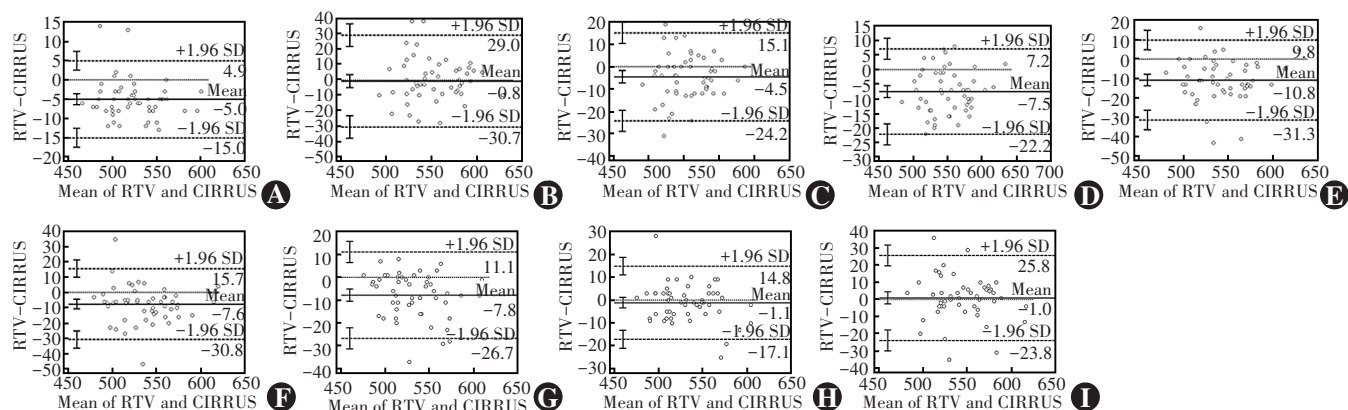


图2 RTVue XR-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 测量各区域角膜厚度 Bland-Altman 一致性检验散点图 ( $n=52$ ) 2 种 OCT 测量 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区角膜厚度 95% LoA 分别为  $-15.02 \sim 4.95$ 、 $-30.68 \sim 29.03$ 、 $-24.21 \sim 15.13$ 、 $-22.19 \sim 7.19$ 、 $-31.28 \sim 9.78$ 、 $-30.82 \sim 15.70$ 、 $-26.69 \sim 11.15$ 、 $-17.05 \sim 14.78$  和  $-23.81 \sim 25.85 \mu\text{m}$  A~I: 2 种仪器测量 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区角膜厚度一致性分析散点图

Figure 2 Scatter plot of Bland-Altman consistency test of the corneal thickness measured by RTVue XR-OCT and Cirrus 5000 HD-OCT in various areas ( $n=52$ ) The 95% LoA of corneal epithelial thickness in C, S, SN, N, IN, I, IT, T and ST areas measured by the two instruments was  $-15.02 \sim 4.95$ 、 $-30.68 \sim 29.03$ 、 $-24.21 \sim 15.13$ 、 $-22.19 \sim 7.19$ 、 $-31.28 \sim 9.78$ 、 $-30.82 \sim 15.70$ 、 $-26.69 \sim 11.15$ 、 $-17.05 \sim 14.78$  and  $-23.81 \sim 25.85 \mu\text{m}$ , respectively A~I: Scatter diagram of consistency analysis of corneal epithelial thickness measured by the two instruments in C, S, SN, N, IN, I, IT, T and ST areas

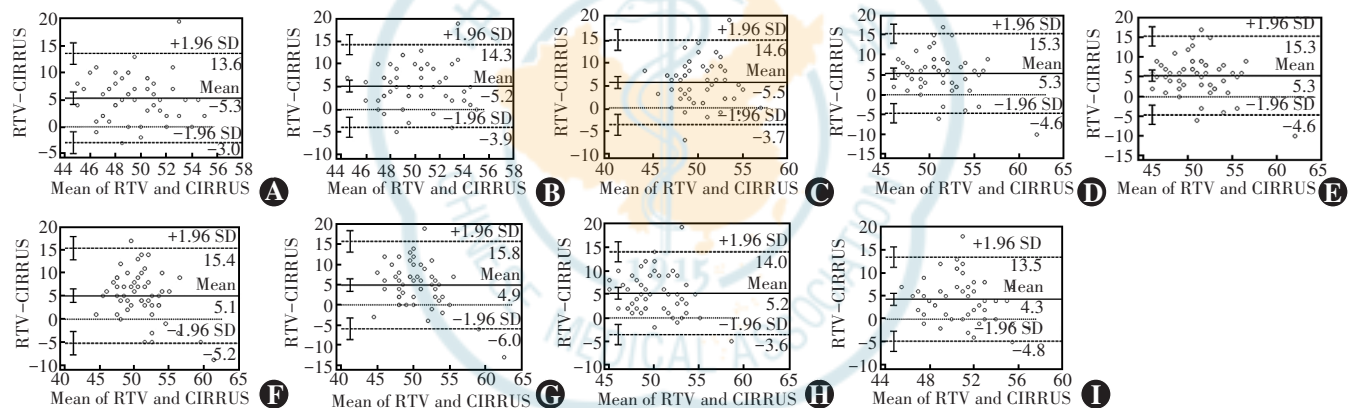


图3 RTVue XR-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 测量各区域角膜上皮厚度 Bland-Altman 一致性检验散点图 ( $n=52$ ) 2 种 OCT 测量 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区角膜上皮厚度 95% LoA 分别为  $-2.96 \sim 13.57$ 、 $-3.94 \sim 14.29$ 、 $-3.67 \sim 14.63$ 、 $-4.61 \sim 14.41$ 、 $-4.65 \sim 15.34$ 、 $-5.24 \sim 15.39$ 、 $-5.97 \sim 15.77$ 、 $-3.59 \sim 14.01$  和  $-4.83 \sim 13.49 \mu\text{m}$  A~I: 2 种仪器测量 C 区、S 区、SN 区、N 区、IN 区、I 区、IT 区、T 区和 ST 区角膜上皮厚度一致性分析散点图

Figure 3 Scatter plot of Bland-Altman consistency test of the corneal epithelial thickness measured by RTVue XR-OCT and Cirrus 5000 HD-OCT in various areas ( $n=52$ ) The 95% LoA of corneal epithelial thickness in C, S, SN, N, IN, I, IT, T and ST areas measured by the two instruments was  $-2.96 \sim 13.57$ 、 $-3.94 \sim 14.29$ 、 $-3.67 \sim 14.63$ 、 $-4.61 \sim 14.41$ 、 $-4.65 \sim 15.34$ 、 $-5.24 \sim 15.39$ 、 $-5.97 \sim 15.77$ 、 $-3.59 \sim 14.01$  and  $-4.83 \sim 13.49 \mu\text{m}$ , respectively A~I: Scatter diagram of consistency analysis of corneal epithelial thickness measured by the two instruments in C, S, SN, N, IN, I, IT, T and ST areas

### 3 讨论

角膜厚度和角膜上皮厚度的测量在临床上有重要意义。研究证实角膜厚度的精确测量对于青光眼、圆锥角膜等疾病的诊断有重要作用<sup>[9-11]</sup>；对全角膜上皮厚度进行精确测量有望实现角膜上皮的个性化切削，进一步提高经上皮屈光性角膜切削术的精确性；由于角膜上皮的可重塑性，圆锥角膜患者的角膜地形图出现异常之前角膜上皮厚度的分布就出现了改变<sup>[7,12]</sup>，角膜上皮厚度的变化特点已成为圆锥角膜早期诊断的重要指标。

OCT 检查具有无创、非接触、可重复的特点，可实时动态观察眼前节结构，基本不受角膜混浊的影响，避

免了超声测量法因接触角膜造成感染和损伤的风险。随着技术的不断进步和发展，OCT 扫描速度更快，减少了眼球运动引起的伪像，可获得分辨率更高的图像和更丰富、准确的图像细节，测量精确性更高<sup>[13-14]</sup>。新一代扫频 OCT 除了能测量角膜厚度，还可以观察角膜各层结构，目前有 2 种眼前节 OCT 可对全角膜上皮厚度进行测量，RTVue XR-OCT 可提供长达 12 mm 长度 B 扫描，扫描速度为每秒 70 000 次，轴向分辨率达到  $5 \mu\text{m}$ ，可提供角膜中央直径  $0 \sim 2 \text{ mm}$  及距角膜中央  $2 \sim 5 \text{ mm}$ 、 $5 \sim 6 \text{ mm}$  和角膜中央直径  $0 \sim 2 \text{ mm}$  及距角膜中央  $2 \sim 5$ 、 $5 \sim 7$  和  $7 \sim 10 \text{ mm}$  2 种范围内角膜厚度测量结果；Cirrus 5000 HD-OCT 提供长度 15 mm 的 B 扫描，扫描速度为每秒 27 000 次，厚度图扫描由 24 条放射

状 B 扫描线,每条 B 扫描由 1 024 个 A 扫描组成,扫描深度为 2 mm,轴向分辨率为 5  $\mu\text{m}$ ,可以提供角膜中央 2 mm 及距中央 2~5、5~7 和 7~9 mm 范围角膜厚度和角膜上皮厚度的自动测量结果。

既往研究显示,RTVue-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 对于角膜厚度和角膜上皮厚度的测量均有良好的重复性和再现性<sup>[13-16]</sup>,但目前尚缺乏 2 种 OCT 测量角膜厚度和角膜上皮厚度的比较研究。因此,本研究对 2 种 OCT 测量角膜厚度和角膜上皮厚度的一致性和差异进行比较。由于眼睑的遮挡,2 种 OCT 往往不能完全显示周边角膜和角膜上皮厚度,因此本研究对角膜中央 2 mm 区域以及距角膜中央 2~5 mm 范围 8 个不同区域获取的角膜厚度和角膜上皮厚度进行对比研究。

角膜厚度测量结果显示,RTVue XR-OCT 测量角膜厚度值较 Cirrus 5000 HD-OCT 偏薄,但差异无统计学意义,Bland-Altman 一致性检验结果显示 2 种仪器测量角膜厚度一致性好,临床上可以相互替代使用;RTVue XR-OCT 测量各不同区域角膜上皮厚度值较 Cirrus 5000 HD-OCT 偏大,差异有统计学意义,2 种仪器测量值相关性较弱,Bland-Altman 一致性检验分析结果显示 2 种仪器的角膜上皮厚度测量值一致性较差,临床上不能互相代替,产生这种差异的原因可能与不同设备对上皮识别存在差异有关。另外有研究显示,RTVue XR-OCT 测量角膜上皮厚度值包括泪膜厚度,泪膜厚度使角膜上皮厚度测量值增加 2~7  $\mu\text{m}$ ,Cirrus 5000 HD-OCT 测量角膜上皮厚度时其测量软件算法减少了泪膜厚度的影响<sup>[6,8,17-19]</sup>。

综上所述,本研究结果表明 RTVue XR-OCT 和 Cirrus 5000 HD-OCT 测量角膜厚度结果相似,二者测量结果一致性较好,临床上可以相互替代;但二者测量角膜上皮厚度结果差异较大,一致性不佳,不能互相代替。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在任何利益冲突

**作者贡献声明** 王闯:参与试验设计、采集和整理数据、统计分析、论文撰写;王浩:参与试验设计、采集数据、统计分析;庞辰久:酝酿和设计试验、研究实施和指导、论文数据分析、对文章内容作批判性审阅和修改

## 参考文献

- Temstet C, Sandali O, Bouheraoua N, et al. Corneal epithelial thickness mapping using Fourier-domain optical coherence tomography for detection of form fruste keratoconus[J]. J Cataract Refract Surg, 2015, 41(4): 812-820. DOI: 10.1016/j.jcrs.2014.06.043.
- 朱晓博,周跃华,傅立叶 OCT 角膜厚度参数在临床前期圆锥角膜筛查中的作用[J]. 眼科, 2013, 22: 165-169. Zhu XB, Zhou YH. The role of the parameters measured with RTVueOCT in the screening of subclinical keratoconus[J]. Ophthalmol CHN, 2013, 22: 165-169.
- 赵玉瑾,洪佳旭,王飞,等. 圆锥角膜患者角膜上皮厚度变化的相干光断层扫描研究[J]. 中华眼科杂志, 2014, 50(9): 665-670. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2014.09.007. Zhao YJ, Hong JX, Wang F, et al. The study of corneal epithelial change in keratoconic eyes with Fourier-domain optical coherence tomographic pachymetry[J]. Chin J Ophthalmol, 2014, 50(9): 665-670. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0412-4081.2014.09.007.
- 彭梅,胡碑,姬戎媛,等. 超高分辨率 OCT 测量角膜上皮厚度在圆锥角膜诊断中的价值[J]. 中华眼视光学科学杂志, 2015, 17(1): 9-13. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2015.01.003. Peng M, Hu D, Ji RY, et al. The role of the corneal epithelial thickness parameters measured with ultra-high resolution optical coherence tomography in the diagnosis of keratoconus[J]. Chin J Optom Ophthalmol Vis Sci, 2015, 17(1): 9-13. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1674-845X.2015.01.003.
- Catalan S, Cadarso L, Esteves F, et al. Assessment of corneal epithelial thickness in asymmetric keratoconic eyes and normal eyes using Fourier domain optical coherence tomography [J/OL]. J Ophthalmol, 2016, 2016: 5697343[2021-06-15]. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27379181/. DOI: 10.1155/2016/5697343.
- Reinstein DZ, Yap TE, Archer TJ, et al. Comparison of corneal epithelial thickness measurement between Fourier-domain OCT and very high-frequency digital ultrasound[J]. J Refract Surg, 2015, 31(7): 438-445. DOI: 10.3928/1081597X-20150623-01.
- Li Y, Tan O, Brass R, et al. Corneal epithelial thickness mapping by Fourier-domain optical coherence tomography in normal and keratoconic eyes[J]. Ophthalmology, 2012, 119(12): 2425-2433. DOI: 10.1016/j.ophtha.2012.06.023.
- Baghdasaryan E, Tepelus TC, Marion KM, et al. Evaluation of corneal epithelial thickness imaged by high definition optical coherence tomography in healthy eyes[J]. Cornea, 2019, 38(1): 62-66. DOI: 10.1097/ICO.0000000000001745.
- Brandt JD, Beiser JA, Gordon MO, et al. Central corneal thickness and measured IOP response to topical ocular hypotensive medication in the Ocular Hypertension Treatment Study[J]. Am J Ophthalmol, 2004, 138(5): 717-722. DOI: 10.1016/j.ajo.2004.07.036.
- Masiwa LE, Moodley V. A review of corneal imaging methods for the early diagnosis of pre-clinical keratoconus[J]. J Optom, 2020, 13(4): 269-275. DOI: 10.1016/j.optom.2019.11.001.
- Sandali O, El Sanharawi M, Temstet C, et al. Fourier-domain optical coherence tomography imaging in keratoconus: a corneal structural classification[J]. Ophthalmology, 2013, 120(12): 2403-2412. DOI: 10.1016/j.ophtha.2013.05.027.
- Li Y, Shekhar R, Huang D. Corneal pachymetry mapping with high-speed optical coherence tomography[J]. Ophthalmology, 2006, 113(5): 792-799. DOI: 10.1016/j.ophtha.2006.01.048.
- Sin S, Simpson TL. The repeatability of corneal and corneal epithelial thickness measurements using optical coherence tomography[J]. Optom Vis Sci, 2006, 83(6): 360-365. DOI: 10.1097/01.opx.0000221388.26031.23.
- Ma XJ, Wang L, Koch DD. Repeatability of corneal epithelial thickness measurements using Fourier-domain optical coherence tomography in normal and post-LASIK eyes[J]. Cornea, 2013, 32(12): 1544-1548. DOI: 10.1097/ICO.0b013e3182a7f39d.
- Mansoori T, Balakrishna N. Repeatability and agreement of central corneal thickness measurement with non-contact methods: a comparative study[J]. Int Ophthalmol, 2018, 38(3): 959-966. DOI: 10.1007/s10792-017-0543-1.
- 华焱军,黄锦海,潘超,等. RTVue 傅里叶光学相干断层扫描仪测量角膜参数的重复性和准确性评价[J]. 中华实验眼科杂志, 2013, 31(2): 177-181. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2013.02.017. Hua YJ, Huang JH, Pan C, et al. Repeatability and accuracy of corneal parameters measured by RTVue Fourier-domain optical coherence tomography[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2013, 31(2): 177-181. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2013.02.017.
- Azartash K, Kwan J, Paugh JR, et al. Pre-corneal tear film thickness in humans measured with a novel technique[J]. Mol Vis, 2011, 17: 756-767.
- Chen Q, Wang J, Tao A, et al. Ultrahigh-resolution measurement by optical coherence tomography of dynamic tear film changes on contact lenses[J]. Invest Ophthalmol Vis Sci, 2010, 51(4): 1988-1993. DOI: 10.1167/iovs.09-4389.
- 田潇,李冰. 眼前节光相干断层扫描测量下泪新月参数及中央角膜厚度在干眼诊断中的应用[J]. 中华实验眼科杂志, 2019, 37(7): 532-539. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.07.008. Tian X, Li B. Application of anterior segment optical coherence tomography in the measurement of the parameters of lower tear meniscus and central corneal thickness[J]. Chin J Exp Ophthalmol, 2019, 37(7): 532-539. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2095-0160.2019.07.008.

(收稿日期:2021-07-10 修回日期:2021-12-15)

(本文编辑:刘艳 施晓萌)

