

Pentacam HR 和 RTVue OCT 测量圆锥角膜的角膜厚度及最薄点位置的比较

潘玉苗, 吴尚操, 杨万举, 陈翔熙, 秦 姣, 王 娟, 余 兰

引用: 潘玉苗, 吴尚操, 杨万举, 等. Pentacam HR 和 RTVue OCT 测量圆锥角膜的角膜厚度及最薄点位置的比较. 国际眼科杂志 2023;23(6):1012-1016

基金项目: 武汉市卫生健康委员会科研项目 (No. WX19Y16)
作者单位: (430060) 中国湖北省武汉市, 武汉大学附属爱尔眼科医院
作者简介: 潘玉苗, 毕业于武汉大学医学院, 硕士, 研究方向: 眼表及角膜疾病。
通讯作者: 吴尚操, 毕业于武汉大学医学院, 硕士, 副主任医师, 研究方向: 眼表及角膜疾病. 13607184653@163.com
收稿日期: 2022-12-08 修回日期: 2023-05-10

摘要

目的: 比较圆锥角膜患者行 Pentacam HR 角膜地形图和 RTVue OCT 检测的角膜厚度及最薄点位置的差异性、相关性和一致性。

方法: 横断面比较研究。使用 Pentacam HR 和 RTVue OCT 两种测量方法检测得到角膜曲率图、角膜厚度图、最薄点位置及最薄点厚度。符合正态分布数据采用配对样本 *t* 检验, 不符合正态分布数据采用配对样本的秩和检验, 两种测量方法的相关性和一致性分别采用 Spearman 相关分析和 Bland-Altman 分析。

结果: 本研究共包括圆锥角膜患者 63 例 105 眼, 其中男 49 例 (77.8%), 女 14 例 (22.2%), 年龄 22.24 ± 6.19 岁; 其中 Pentacam HR 地形图相关数据: 角膜曲率平均值 (*Km*) 为 $47.85 \pm 4.73D$, 角膜最大曲率值 (*Kmax*) 为 $55.43 \pm 8.72D$ 。圆锥角膜患者中 Pentacam HR 比 RTVue OCT 测量的中央角膜厚度和最薄点厚度平均值厚 $4.70\mu m$ 和 $19.46\mu m$, 均具有差异 ($P < 0.05$)。两种设备测得的最薄点位置的横坐标和纵坐标比较均无差异 ($P > 0.05$)。两种设备测得的中央角膜厚度、最薄点厚度均呈高度相关, 最薄点位置的横坐标呈中度相关、最薄点位置的纵坐标呈弱相关。Bland-Altman 分析结果显示两种设备测得的中央角膜厚度、最薄点厚度、最薄点位置的横坐标、最薄点位置的纵坐标分别有 95.2% (100/105)、93.3% (98/105)、95.2% (100/105)、95.2% (100/105) 的点在 95% 一致性界限以内, 一致性范围分别为 $-36.00 \sim +26.62\mu m$ 、 $-42.27 \sim +3.36\mu m$ 、 $-0.80 \sim +0.84mm$ 、 $-1.95 \sim +1.06mm$ 。

结论: 在圆锥角膜中 Pentacam HR 比 RTVue OCT 检测的中央角膜厚度和最薄点厚度高, 两仪器测量的中央角膜厚度和最薄点厚度的一致性范围较大, 临床工作使用中不建议将二者测量值替换使用。两仪器测量圆锥角膜的角膜最薄点位置相当、一致性较好, 临床工作使用中可考虑将二者测量值替换使用。

关键词: 圆锥角膜; 角膜交联; 最薄点位置; 厚度测量; Pentacam HR; RTVue OCT; 角膜厚度

DOI: 10.3980/j.issn.1672-5123.2023.6.26

Comparative study of corneal thickness and thinnest point position of keratoconus measured by Pentacam HR and RTVue OCT

Yu-Miao Pan, Shang-Cao Wu, Wan-Ju Yang, Xiang-Xi Chen, Jiao Qin, Juan Wang, Lan Yu

Foundation item: Research Project of Wuhan Municipal Health Commission (No. WX19Y16)

Aier Eye Hospital Affiliated to Wuhan University, Wuhan 430060, Hubei Province, China

Correspondence to: Shang-Cao Wu. Aier Eye Hospital Affiliated to Wuhan University, Wuhan 430060, Hubei Province, China. 13607184653@163.com

Received: 2022-12-08 Accepted: 2023-05-10

Abstract

• **AIM:** To investigate the difference, correlation, and consistency of corneal thickness and the thinnest point position detected by Pentacam HR corneal topography map and RTVue optical coherence tomography (OCT) in patients with keratoconus.

• **METHODS:** Cross-sectional comparative study. The corneal curvature map, corneal thickness map, thinnest point position, and thinnest point thickness were detected by Pentacam HR and RTVue OCT. Paired sample *t*-test was used for data consistent with normal distribution, and paired sample rank sum test was used for data inconsistent with normal distribution. Spearman correlation analysis and Bland-Altman analysis were used for the correlation and consistency of the two measurement methods.

• **RESULTS:** A total of 63 patients (105 eyes) with keratoconus were included in this study, including 49 males (77.8%) and 14 females (22.2%), aged 22.24 ± 6.19 years; among them, relevant data of Pentacam HR topographic map: *Km* was $47.85 \pm 4.73D$ and *Kmax* was $55.43 \pm 8.72D$. In measuring central corneal thickness and the thinnest point thickness of keratoconus, the Pentacam HR was $4.70\mu m$ and $19.46\mu m$ thicker than the mean value measured by RTVue OCT ($P < 0.05$). There was no significant difference between the horizontal and vertical coordinates of the thinnest points measured by the two devices ($P > 0.05$). The central corneal thickness and the thinnest point thickness measured by the two devices were highly correlated, the horizontal coordinate of the thinnest point was moderately correlated, and the vertical coordinate of the thinnest point was weakly correlated. Bland-Altman analysis showed that the central corneal

thickness, the thinnest point thickness, the horizontal coordinate of the thinnest point, and the vertical coordinate of the thinnest point were 95.2% (100/105) and 93.3% (98/105), 95.2% (100/105), 95.2% (100/105) respectively, which were within the 95% consistency limit, while the consistency ranges were $-36.00 \sim +26.62\mu\text{m}$, $-42.27 \sim +3.36\mu\text{m}$, $-0.80 \sim +0.84\text{mm}$, and $-1.95 \sim +1.06\text{mm}$, respectively.

• **CONCLUSION:** In keratoconus, the central corneal thickness and the thinnest point thickness measured by Pentacam HR were higher than those measured by RTVue OCT. It is not recommended that the central corneal thickness and the thinnest point thickness measured by the two instruments be interchangeable in clinical use because of the wide range of consistency between the two instruments' results. The position of the thinnest corneal point measured by the two instruments is similar and consistent, so it could be considered to replace the measured values of the two instruments in clinical use.

• **KEYWORDS:** keratoconus; corneal crosslinking; thinnest corneal point position; thickness measurement; Pentacam HR; RTVue OCT; corneal thickness

Citation: Pan YM, Wu SC, Yang WJ, et al. Comparative study of corneal thickness and thinnest point position of keratoconus measured by Pentacam HR and RTVue OCT. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023;23(6):1012-1016

0 引言

圆锥角膜(keratoconus, KC)是一种以角膜变薄为特征的进行性扩张性疾病。KC角膜基质胶原纤维改变导致角膜基质厚度变薄和角膜中央区不规则突出,最终导致不规则散光和视力下降^[1]。目前能阻止KC进展的方法是角膜交联(corneal crosslinking, CXL),通过在角膜胶原纤维分子和蛋白多糖核心蛋白之间建立共价键重建KC的角膜生物力学强度,为保障CXL治疗的安全性,角膜最薄点厚度(thinnest corneal thickness, TCT)需大于 $400\mu\text{m}$ ^[2]。因此,准确测量KC患者TCT对CXL治疗以及判断疾病的严重程度和进展至关重要。目前临床上有许多检测设备可用于测量角膜厚度,包括A超测厚仪、光学相干断层扫描术(optical coherence tomography, OCT)、角膜地形图和共焦显微镜等。在既往对不同设备测量角膜厚度的比较研究中发现,A超测厚法因其高重复性和准确性仍是公认的金标准^[3]。在既往的研究中,大多角膜厚度的研究选择测量角膜中央点或者周边特定位置上的点进行设备间的比较,A超足以完成每次一个点的检测。但与正常人不同的是,KC患者的角膜最薄点往往不是在角膜中央,要了解患者角膜最薄点位置(thinnest corneal point, TCP)就需要在短时间内获取角膜上尽可能多的点来比较明确其位置,因此A超单次检测一个点就难以胜任。目前临床上能快速、非接触检测出角膜厚度分布数据的设备包括Pentacam HR和RTVue OCT,国内外已有大量研究报道Pentacam HR和RTVue OCT在正常角膜厚度测量的比较研究,而对KC中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)及TCT的比较研究尚少。因此本研究的目的是比较Pentacam HR和RTVue OCT对KC患者角膜厚度测量及TCP识别的差异性、相关性和一致性。

1 对象和方法

1.1 对象 本研究为横断面比较研究,收集2019-03/2021-05在武汉大学附属爱尔眼科医院确诊的KC患者63例105眼纳入研究。纳入标准:KC的诊断基于前矢状曲率图中的特征性KC征象(例如:不对称蝴蝶结模式,有或没有轴倾斜或下或中央倾斜)和至少一个生物显微镜征象(例如:锥形突出、Vogt条纹和Fleischer环)。排除标准:有眼前段手术史、眼表疾病、局部滴眼液使用史、眼外伤史、角膜瘢痕史或除圆锥角膜以外的眼部或全身病变史者。该研究方案获得了我院医院伦理委员会的批准,并且是根据《赫尔辛基宣言》原则进行的,均获得患者的书面知情同意书。

1.2 方法 所有患者均进行了主观屈光、裂隙灯显微镜检查和无睫状肌麻痹的眼底镜检查。角膜断层摄影分析由同一名经验丰富的技术人员进行,他们使用相同的Pentacam HR Scheimpflug成像系统(Oculus, Optikergeräte GmbH, Wetzlar)和RTVue XR OCT Avanti光学相干断层扫描(OPtvue, Inc.),在检查之前参与者没有接受任何接触性眼部检查,如眼压测量、房角镜检查、超声测厚或散瞳。进行3次测量后,选择具有最佳对齐和固定的测量进行数据分析。分析具有“正常”质量规范的Pentacam图像和信号强度指数至少为30的OCT图像。所有角膜成像均在16:00~20:00之间进行,每次就诊试验顺序是随机的,在捕获图像时不查看结果,以尽量减少偏倚的机会。记录所有参与者的Pentacam HR和RTVue OCT在厚度图上的CCT、TCT和TCP(采用以角膜中央顶点为圆点的X/Y坐标系统表示)。

统计学分析:数据分析处理采用SPSS24.0,两种测量方法所得的计量资料经K-S检验,符合正态分布以均数±标准差形式表示,采用配对样本t检验;不符合正态分布的计量资料采用 $M(P_{25}, P_{75})$ 表达,采用配对样本的秩和检验进行分析。采用Spearman相关分析和Bland-Altman分析比较两种测量方法的相关性和一致性,其中 $|r| \geq 0.8$ 为高度相关、 $0.5 \leq |r| < 0.8$ 为中度相关、 $0.3 \leq |r| < 0.5$ 为低度相关、 $|r| < 0.3$ 为弱相关。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 患者基本资料 本研究共包括KC患者63例105眼,其中男49例(77.8%),女14例(22.2%),男女比例3.5:1,年龄 22.24 ± 6.19 岁。其中Pentacam地形图相关数据:角膜曲率平均值(Km) $47.85 \pm 4.73\text{D}$,角膜最大曲率值(Kmax) $55.43 \pm 8.72\text{D}$ 。

2.2 OCT和Pentacam两种设备测量角膜厚度和TCP的差异性比较 两种设备测得CCT、TCT及最薄点坐标(TCP-X、TCP-Y)相关数据结果见表1。在KC中,Pentacam比OCT测量的CCT平均厚 $4.70\mu\text{m}$,Pentacam比OCT测量的TCT平均厚 $19.46\mu\text{m}$,两种设备测得CCT、TCT比较差异均具有统计学意义($P < 0.05$)。两种设备测得最薄点坐标TCP-X、TCP-Y比较差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 两种设备测量角膜厚度及TCP的相关性分析 两种仪器测量的CCT、TCT均呈高度相关($r = 0.912, 0.952$,均 $P < 0.01$),见图1、2。两种仪器测量的TCP-X呈中度相关($r = 0.68, P < 0.01$)、TCP-Y呈弱相关($r = 0.22, P = 0.02$),见图3、4。

表1 RTVue OCT 和 Pentacam HR 所测得角膜厚度及 TCP 比较

仪器	CCT [$M(P_{25}, P_{75}), \mu\text{m}$]	TCT ($\bar{x} \pm s, \mu\text{m}$)	TCP-X [$M(P_{25}, P_{75}), \text{mm}$]	TCP-Y [$M(P_{25}, P_{75}), \text{mm}$]
OCT	465.00(441.00, 494.50)	447.62±40.06	0.02(-0.46, 0.43)	-0.45(-0.62, -0.18)
Pentacam	473.00(444.00, 500.50)	467.08±40.09	0.04(-0.38, 0.39)	-0.42(-0.62, -0.29)
t/Z	-3.409	-17.13	-0.256	-0.176
P	<0.01	<0.01	0.80	0.86

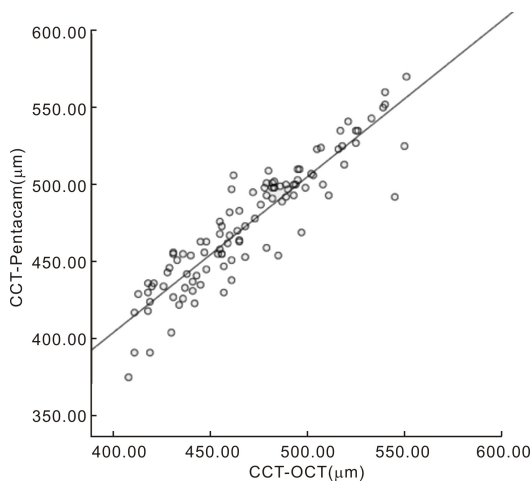


图1 两种设备测量 CCT 相关性分析。

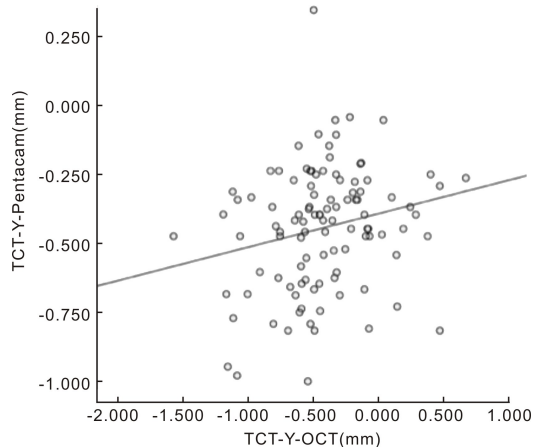


图4 两种设备测量 TCP-Y 相关性分析。

(100/105) 的点在 95% 一致性界限以内, 一致性范围分别为 $-36.00 \sim +26.62 \mu\text{m}$ 、 $-42.27 \sim +3.36 \mu\text{m}$ 、 $-0.80 \sim +0.84 \text{mm}$ 、 $-1.95 \sim +1.06 \text{mm}$, 见图 5~8。

3 讨论

KC 是以角膜扩张膨隆和角膜基质厚度逐渐变薄为特征的疾病, 在疾病发展的过程中, 随着中央区的变薄前突, 角膜近似规则的半球形形状逐渐变得不规则, 角膜变薄发生在中央角膜或中央角膜旁, 最常见于颞下象限^[4]。目前唯一可以阻止疾病进展的方法是 CXL^[5]。CXL 的目的是在胶原分子之间和蛋白聚糖和核心蛋白之间产生共价键来重建 KC 中角膜的生物力学强度。为了避免 CXL 对角膜内皮的毒性及损伤, CXL 的手术适应证要求 TCT 大于 $400 \mu\text{m}$ ^[2]。自 CXL 手术引进以来 KC 进展评估倍受重视。在以往研究中, 角膜厚度、屈光不正以及 Km 和 Kmax 测量等参数已被用于监测 KC 进展。2015 年圆锥角膜和扩张性疾病全球共识为扩张进展定义了 3 个参数。其中一个参数是角膜厚度从外围到最薄点的逐渐变薄和/或增加^[1]。因此, 临床上对 KC 患者角膜最薄点进行可重复性的准确定位和厚度测量是制定 KC 治疗方案和判断病情进展的基础。

目前 A 型超声测厚法仍然是角膜厚度测量金标准, 但其测量可能受到多种因素的影响, 且不能短期迅速找到角膜最薄点^[3]。RTVue OCT 是一款频域 OCT, 具有 $5 \mu\text{m}$ 的组织深度分辨率和 0.04s 内角膜的高放大倍率成像。它采用超发光二极管作为低相干光源, 以 830nm 红外线对眼前节进行 360° 断层扫描成像。角膜测厚通过获取 8 条均匀分布的 6mm 径向线, 每条线定向 22.5° , 在 0.31s 内进行 1024 次 A 扫描, 一次测量即可实现角膜每个点的厚度^[6]。Pentacam HR 系统使用 475nm 的二极管光源, 通过旋转的 Scheimpflug 相机来获取眼前节的三维图像, $0^\circ \sim 180^\circ$ 旋转拍摄 50 张裂隙像, 每张图像可获得 500 个真实的高度点, 最终每个层面获得 25 000 个高度点。通过高度数据计算可以清晰地显示角膜中央、周边及最薄点的厚度^[7]。

2.4 两种设备测量角膜厚度及 TCP 的一致性分析 Bland-Altman 分析结果显示 CCT、TCT、TCP-X、TCP-Y 分别有 95.2% (100/105)、93.3% (98/105)、95.2% (100/105)、95.2%

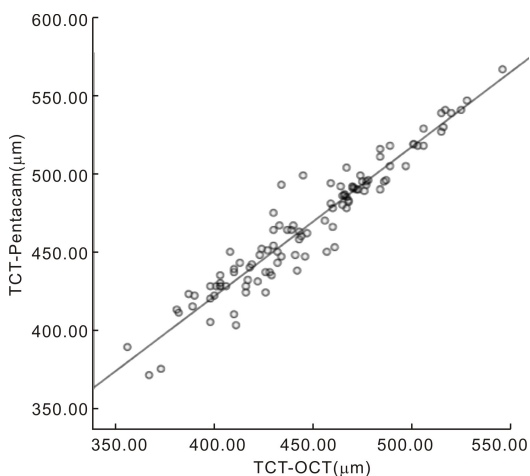


图2 两种设备测量 TCT 相关性分析。

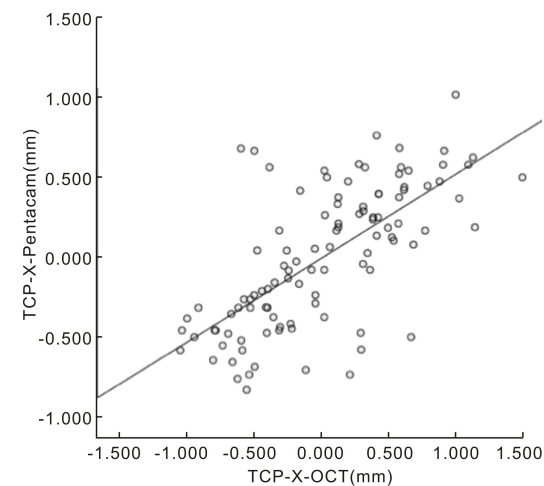


图3 两种设备测量 TCP-X 相关性分析。

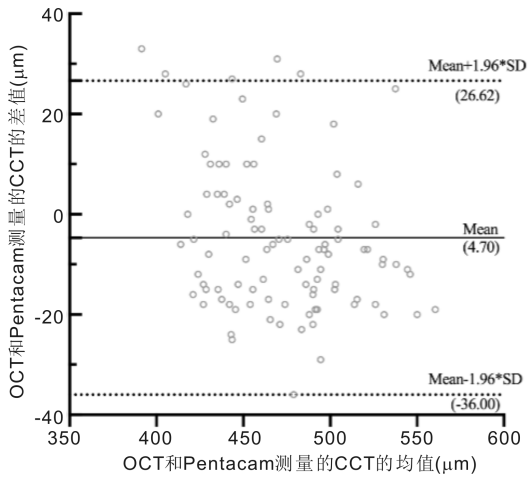


图5 两种设备测量 CCT 的一致性分析。

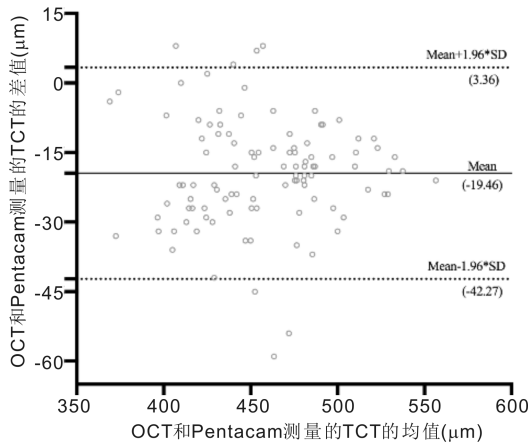


图6 两种设备测量 TCT 的一致性分析。

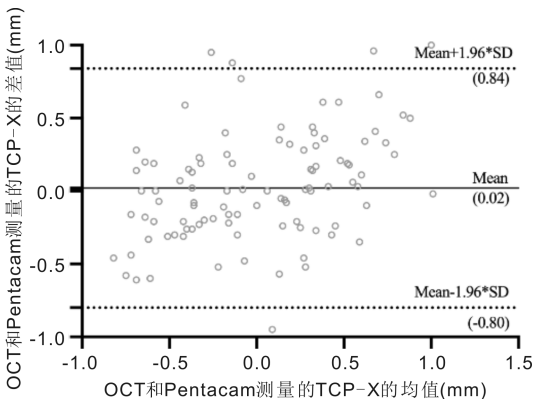


图7 两种设备测量最薄点横坐标一致性分析。

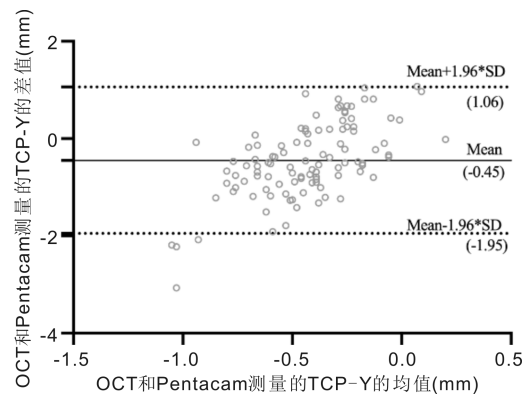


图8 两种设备测量角膜最薄点纵坐标一致性分析。

约 $2\sim 22\mu\text{m}$ ^[7-9]。我们的研究中 CCT 的测量 Pentacam HR 测量值比 RTVue OCT 略厚约 $4.70\mu\text{m}$, TCT 的测量 Pentacam HR 测量值比 RTVue OCT 略厚约 $19.46\mu\text{m}$, 这大约处于先前报道的范围。一些研究报告了不同的前节 OCT 和 Scheimpflug 成像设备进行 CCT 和 TCT 测量均具有良好的重复性。在 KC 中, 多数学者认为, 前节 OCT 和 Scheimpflug 成像设备不应互换用于 CCT 和 TCT 测量^[10-11]。然而, 少部分研究报道了前节 OCT 和 Scheimpflug 成像对 KC 的 CCT、TCT 测量结果差异不大^[9,12]。在同种疾病和同样型号的研究设备对比之下, 我们的研究与李丹等^[13]的研究结果一致。与我们的研究结果相反, Grewal 等^[8]的研究发现在 KC 患者 CCT 测量中 Pentacam HR 和 RTVue OCT 设备之间差异无统计学意义。我们推测其原因可能是中央角膜定位不一致会影响不同仪器 CCT 测量差异。Shankar 等^[14]比较了 Pentacam HR 系统测量不同位置的 CCT 的重复性, 发现以角膜顶点厚度作为 CCT 厚度的测量点具有最好的重复性。对于 OCT, 许多研究也推荐使用角膜顶点作为 CCT 的测量位置^[15-16]。在本研究中我们也参照以往研究, 两种仪器均选择角膜顶点作为 CCT 测量位置。对于 TCT 测量我们的研究与李丹等^[13]的研究报道的结果一致。同时我们的研究发现 Pentacam HR 对 KC 患者 TCT 测量较 CCT 测量所产生的厚度差值较大, 我们认为这可能与两种设备的不同检测原理有关。Pentacam HR 角膜地形图以裂隙照明高速摄影, 拍摄系统沿着光轴进行旋转扫描, 获得大量角膜截面数据, 类似于超声中的 B 扫描, 再对获得的数据进行建模和处理获得角膜厚度, 相对于周边角膜而言, 中央区域角膜重叠成像更多, 分析的数据点更多, 因此中心的测量结果更为准确^[17]。而 OCT 则通过光线干涉断层扫描的原理, 类似于超声中的 A 扫描, 可以获得角膜各个层面的大量数据, 再对数据进行处理而获得角膜厚度, 因此测量结果更为准确^[18]。考虑到 KC 患者 TCP 多位于颞下方, 故 TCT 测量结果较 CCT 差值较大。我们还评估了两个设备之间测厚结果的相关性及一致性。在我们的研究中发现两个设备之间在 CCT 和 TCT 测量中均具有较强相关性, 但一致性分析结果显示两设备在 CCT 和 TCT 的测量中一致性范围较大, 分别为 $-36.00\sim +26.62\mu\text{m}$ 、 $-42.27\sim +3.36\mu\text{m}$ 。考虑到 KC 患者行 CXL 手术 TCT 若被高估可能会导致角膜内皮毒性损伤, 因此, 本研究认为两设备一致性欠佳, 临床上在角膜厚度测量上不能互相替代, 对于 KC 患者 CXL 术前评估建议采取 OCT 结果, 并且评估角膜厚度动态变化时尽量选择同一种仪器。

对于不同设备对角膜最薄点的定位差异, 所报道的研究较少, 国内有学者研究了 Pentacam HR 和 Visante-OCT 对普通近视人群和 LASIK 术后人群角膜最薄点定位, 认为两种设备测量的角膜最薄点均位于角膜颞下象限, 但设备间位置测量差异较显著, Pentacam HR 测得的 TCP 较 Visante-OCT 偏颞上方, 且两种设备对最薄点的定位相关程度及一致性欠佳^[19]。我们的研究显示采用 RTVue OCT 与 Pentacam HR 所定位的 TCP 无明显差异。两种仪器在 TCP-X 测量上具有较好相关性, 在 TCP-Y 测量上相关性较弱, 这与国内刘帅帅等^[20]采用新一代眼前节 OCT-CASIA2 和 Pentacam HR 所得结果相一致。Bland-Altman 分析显示 TCP-X 和 TCP-Y 测量结果一致性范围较窄, 此差异在临床可接受范围内, 且配对样本 *t* 检验结果显示差

几项比较角膜地形图和 OCT 系统之间测量角膜厚度的研究发现, 角膜地形图测量的厚度值比 OCT 测量值厚

异均不具有统计学意义。因此我们的研究认为两仪器对 KC 最薄点位置识别上一致性较好,临床上对于 KC 患者 TCP 识别确定时两种仪器可互相参考甚至替代使用。对于不同研究所产生的差异性结果,可能与纳入的人群种类有关系,另外不同设备对坐标系的定位精度不一致可能也影响坐标的定位。当前研究中 RTVue OCT 坐标系精度为 0.001mm, Pentacam HR 坐标系精度为 0.01mm。

本研究也存在一定的局限性:(1)本研究着重于比较 KC 患者采用 RTVue OCT 和 Pentacam HR 设备测量的角膜厚度差异和角膜最薄点的差异,因此只纳入了 KC 患者,未纳入健康眼受试对照,在未来的进一步研究中可考虑纳入健康眼受试者或不同疾病人群,如近视患者及屈光术后患者等;(2)本研究仅涉及两种仪器的比较,无 A 超对照,无法与金标准进行对比研究,我们将在后续研究中开展不同成像原理的仪器对角膜厚度测量的影响。

综上所述,本研究结果表明,Pentacam HR 和 RTVue OCT 对 KC 最薄点的识别无明显差异,临床上对于 KC 患者 TCP 识别确定时两种仪器可互相参考甚至替代使用,在厚度测量中两种仪器测厚值虽具有较高的相关性,但测厚值的一致性范围较大且测厚值差异明显,在临床工作中两种仪器的厚度测量结果不可以替代使用。

参考文献

- 1 Gomes JAP, Tan D, RaPuano CJ, et al. Global consensus on keratoconus and ectatic diseases. *Cornea* 2015;34(4):359-369
- 2 Rubinfeld RS, Caruso C, Ostacolo C. Corneal cross-linking: the science beyond the myths and misconceptions. *Cornea* 2019;38(6):780-790
- 3 Miglior S, Albe E, Guareschi M, et al. Intraobserver and interobserver reproducibility in the evaluation of ultrasonic pachymetry measurements of central corneal thickness. *Br J Ophthalmol* 2004;88(2):174-177
- 4 Santodomingo-Rubido J, Carracedo G, Suzuki A, et al. Keratoconus: An updated review. *Cont Lens Anterior Eye* 2022;45(3):101559
- 5 Ng SM, Ren M, Lindsley KB, et al. Transepithelial versus epithelium-off corneal crosslinking for progressive keratoconus. *Cochrane Database Syst Rev* 2021;3(3):CD013512
- 6 Wolfel AE, Pederson SL, Cleymaet AM, et al. Canine central corneal thickness measurements via Pentacam - HR[®], optical coherence tomography (OPTovue iVue[®]), and high-resolution ultrasound biomicroscopy. *Vet Ophthalmol* 2018;21(4):362-370
- 7 Kim JS, Rho CR, Cho YW, et al. Comparison of corneal thickness measurements using ultrasound pachymetry, noncontact tonometry,

- pentacam HR, and fourier - domain OCT. *Medicine* 2021;100(16):e25638
- 8 Grewal DS, Brar GS, Grewal SPS. Assessment of central corneal thickness in normal, keratoconus, and post-laser *in situ* keratomileusis eyes using Scheimpflug imaging, spectral domain optical coherence tomography, and ultrasound pachymetry. *J Cataract Refract Surg* 2010;36(6):954-964
- 9 Gonul S, Koktekir BE, Bakbak B, et al. Comparison of central corneal thickness measurements using optical low - coherence reflectometry, fourier domain optical coherence tomography, and scheimpflug camera. *Arq Bras Oftalmol* 2014;77(6):345-350
- 10 Li Y, Gokul A, McGhee C, et al. Repeatability and agreement of biometric measurements using spectral domain anterior segment optical coherence tomography and scheimpflug tomography in keratoconus. *PLoS One* 2021;16(5):e0248659
- 11 Chan TCY, Biswas S, Yu M, et al. Comparison of corneal measurements in keratoconus using swept - source optical coherence tomography and combined placido-scheimpflug imaging. *Acta Ophthalmol* 2017;95(6):e486-e494
- 12 Sezgin Akçay Bi, Özgürhan EB, Bozkurt E, et al. Evaluation of pachymetric measurements with scheimpflug photography-based system and optical coherence tomography pachymetry at different stages of keratoconus. *J Ophthalmol* 2014;2014:719205
- 13 李丹, 张阳, 郭莉莉, 等. Pentacam HR 及 Optovue ivue OCT 测量圆锥角膜和近视患者角膜厚度的研究. *眼科* 2021;30(2):136-141
- 14 Shankar H, Taranath D, Santhirathelagan CT, et al. Anterior segment biometry with the pentacam: comprehensive assessment of repeatability of automated measurements. *J Cataract Refract Surg* 2008;34(1):103-113
- 15 Maloca PM, Studer HP, Ambrósio R Jr, et al. Interdevice variability of central corneal thickness measurement. *PLoS One* 2018;13(9):e0203884
- 16 Ucak T, Icel E, Tasli NG, et al. Comparison of six methods of central corneal thickness measurement in healthy eyes. *Beyoglu Eye J* 2021;6(1):7-13
- 17 Khoramnia R, Rabsilber TM, Auffarth GU. Central and peripheral pachymetry measurements according to age using the pentacam rotating scheimpflug camera. *J Cataract Refract Surg* 2007;33(5):830-836
- 18 Keech A, Simpson T, Jones L. Repeatability of pachymetry and thinnest point localization using a fourier - domain optical coherence tomographer. *Optom Vis Sci* 2010;87(10):736-741
- 19 黄锦海, 葛利娜, 温岱宗, 等. Pentacam 与 Visante OCT 测量角膜厚度的重复性和一致性研究. *中华眼科杂志* 2013;49(3):250-256
- 20 刘帅帅, 丁蕾, 赵莉莉, 等. CASIA2 与 Pentacam HR 测量角膜厚度和前房深度的对比研究. *国际眼科杂志* 2022;22(11):1922-1926