

# ArcScan Insight 100 超高频数字超声扫描仪在眼科临床中的应用

刘文芳,王浩,宋鹏,庞辰久

引用:刘文芳,王浩,宋鹏,等. ArcScan Insight 100 超高频数字超声扫描仪在眼科临床中的应用. 国际眼科杂志 2023; 23(3): 425-429

作者单位:(450003)中国河南省郑州市,河南大学人民医院 河南省人民医院 河南省立眼科医院 河南省眼科研究所 郑州大学人民医院

作者简介:刘文芳,河南大学在读硕士研究生,住院医师,研究方向:屈光手术。

通讯作者:庞辰久,主任医师,二级教授,研究方向:屈光手术. pangcj999@sohu.com

收稿日期:2022-04-01 修回日期:2023-01-28

## 摘要

ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪是一种新型眼部超声测量仪,可对眼前节进行检查和测量,可用于角膜屈光手术前后的筛查和随访、ICL 植入术术前眼前节参数的测量、拱高的预测和术后观测、圆锥角膜的早期筛查及青光眼、白内障、眼外伤等检查诊断,兼具超声生物显微镜(UBM)检查范围广、光学相干断层扫描(OCT)操作简便的特点,具有广泛的临床应用前景。本文就 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪的测量原理、使用方法、测量参数及临床应用新进展进行综述。

**关键词:**超高频数字超声;超声生物显微镜;眼前节测量仪;屈光手术;圆锥角膜

DOI:10.3980/j.issn.1672-5123.2023.3.15

## Clinical application of ArcScan Insight 100 very high - frequency digital ultrasound scanner in ophthalmology

Wen - Fang Liu, Hao Wang, Peng Song, Chen - Jiu Pang

People's Hospital Affiliated to Henan University; Henan Provincial People's Hospital; Henan Eye Hospital; Henan Eye Institute; People's Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003, Henan Province, China

**Correspondence to:**Chen-Jiu Pang. People's Hospital Affiliated to Henan University; Henan Provincial People's Hospital; Henan Eye Hospital; Henan Eye Institute; People's Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou 450003, Henan Province, China. pangcj999@sohu.com

Received:2022-04-01 Accepted:2023-01-28

## Abstract

• ArcScan Insight 100 very high - frequency (VHF) digital ultrasound scanner is a new ocular ultrasonic measuring instrument, which can detect and measure the anterior segment. It can be used for screening before corneal refractive surgery and follow - up after corneal refractive surgery, measuring anterior segment parameters before implantable collamer lens (ICL) implantation, predicting preoperative vault, measuring postoperative vault, early screening keratoconus, and diagnosing glaucoma, cataract and eye injuries, etc. Taking the advantages of a wide range examination of ultrasound biomicroscope (UBM) and simple operation of optical coherence tomography (OCT), it has a broad prospect for clinical application. In this paper, the measurement principle, application method, parameters and clinical application progress of ArcScan Insight 100 VHF digital ultrasound scanner are reviewed in detail.

• **KEYWORDS:** very high - frequency digital ultrasonic; ultrasound biomicroscope; anterior segment measuring instrument; refractive surgery; keratoconus

**Citation:**Liu WF, Wang H, Song P, et al. Clinical application of ArcScan Insight 100 very high - frequency digital ultrasound scanner in ophthalmology. *Guoji Yanke Zazhi (Int Eye Sci)* 2023; 23(3): 425-429

## 0 引言

目前临床上常用的眼前节生物成像测量技术主要有三种,即 Scheimpflug 相机成像技术<sup>[1]</sup>、光学相干断层扫描(optical coherence tomography, OCT)技术<sup>[2]</sup>和超声成像技术。眼科常用于测量前节的超声包括 A 超、B 超和超声生物显微镜(ultrasound biomicroscope, UBM)<sup>[3]</sup>。UBM 不仅可以对眼前房进行测量,还可以对眼后房进行观察,在临床上应用广泛。但 UBM 检查为侵入式,需要表面麻醉,放置浴杯,表面麻醉药物可能对角膜造成影响,检查过程中超声探头可能压迫眼球或探头没有垂直于角膜均可能对测量结果造成影响。ArcScan Insight 100 超高频(very high - frequency, VHF)数字超声扫描仪是美国 ArcScan 公司基于超声原理设计的一款新型非接触式超高频超声生物显微镜,基本原理与 UBM 相同,但其不需眼表面麻醉、不直接接触角膜、坐位检查,超声探头沿角膜表面曲线运动,近似于眼球表面弧度进行弧形扫描,扫描深度 7.6mm,采用数字信号处理技术,通过一个或多个子午线获取数

据,生成特定子午线上的眼部影像图。ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪能执行角膜成像、眼前节成像和晶状体囊成像三种不同类型的扫描。目前国内尚缺乏相关报道,本文对 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪在临床应用的进展进行综述。

### 1 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪发展史

1993年,Reinstein等<sup>[4]</sup>根据超声原理设计出一款超声探头不直接与角膜接触的眼部扫描仪,扫描深度为7.6mm,命名为 Cornell Bio - Acoustic Research Facility (BARF)。1997年扫描仪引入电弧扫描,这样可确保超声探头在扫描的过程中始终与角膜表面保持垂直,保证测量结果的精确性<sup>[5]</sup>。1999年将超声配件更换为聚二氟乙烯(PVDF)传感器,并将扫描系统翻转,使患者可以坐着进行扫描检查,命名为 Artemis-1。2001年又将仪器中的传感器更换为灵敏度更高的铈酸锂传感器,改进后的设备命名为 Artemis-2。后又进行内部软件升级及外部部件更新,最新一代产品 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪于2016年成功在欧美上市后开始应用于临床,并逐渐在国内外医院中应用(图1)。

### 2 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪使用方法

检查时被检者处于坐姿,将下颌放在下颌托上,将眼睛浸入一个类似于游泳时使用的护目镜的 EyeSeal™ 软边眼杯中(一次性使用),被检者睁开眼睛,检查者通过计算机屏幕观察瞳孔位置,当被检者瞳孔位于扫描图像中央时,嘱被检者闭上眼睛,通过打开眼杯上蓝色阀门向眼杯内注入生理盐水(约33℃),直至眼杯内充满生理盐水,嘱被检者睁大眼睛,当从电脑屏幕上观察到被检者眼睛充分暴露在液体中时可开始扫描,扫描结束后,嘱被检者闭上眼睛,然后打开眼杯上的白色阀门,排空眼杯内的液体,被检者将头部从仪器上移开,检查结束。测量时间不超过5min,同一只眼睛每2次测量间隔时间大于5min。

### 3 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪主要眼部测量参数

ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪可测量的主要眼部测量参数:(1)角膜相关参数:中央角膜厚度(central corneal thickness, CCT)、角膜上皮厚度、角膜瓣厚度、角膜帽厚度、角膜基质厚度、剩余基质厚度;(2)前房相关参数:前房深度(anterior chamber depth, ACD)、角到角宽度(angle to angle, ATA)、前房宽度(anterior chamber width, ACW)、前房角(anterior chamber angle, ACA)、沟到沟宽度(sulcus to sulcus, STS)、沟到沟平面矢高(sulcus to sulcus lens rise, STSL)、巩膜突到巩膜突的距离、睫状突到睫状突距离(ciliary body inner distance, CBID)、虹膜突前250、500、750μm房角开放距离(angle opening distance, AOD<sub>250</sub>、AOD<sub>500</sub>、AOD<sub>750</sub>)、虹膜小梁网夹角(angle of iris trabecular mesh, TIA)、小梁网-虹膜空间面积(trabecular meshwork-iris space area, TISA)等,其中房角开放距离由该设备内置软件自动测量;(3)晶状体相关参数:晶状体厚度(lens thickness, LT)、晶状体矢高(crystalline lens rise, CLR)、晶状体表面曲率;(4)其他:拱高、角膜瘢痕厚

度、巩膜厚度(scleral thickness)、虹膜及睫状体肿物大小、青光引流物通畅情况等,见表1。

### 4 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪的临床应用

#### 4.1 角膜屈光手术

角膜屈光手术是矫正屈光不正的重要方法,手术成功需要严格的适应证筛选、精准的手术设计。角膜屈光手术前角膜厚度的精确测量对手术类别选择、光学区设计、术后屈光度数的稳定及安全性都非常重要,也是角膜屈光手术医师最为关心的数据。ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪能获得准确的眼前部测量数据,其重复性为1.68μm,再现性为1.5μm,精确性为0.71μm,不同操作者之间差异无统计学意义<sup>[6-7]</sup>。AlFarhan等<sup>[8]</sup>使用 Artemis VHF 数字超声扫描仪对60眼患者 CCT 进行测量,结果显示平均 CCT 为 554.73 ± 31.97μm,与 UBM、Orbscan II 及 OCT 在角膜中央 3.0mm 范围内测量结果的一致性较好<sup>[9-12]</sup>。

在角膜厚度一定的情况下,角膜瓣厚度与角膜基质床厚度密切相关,角膜瓣厚度是影响角膜基质床厚度的重要因素之一,特别是对于准分子激光原位角膜磨镶术(laser-assisted *in-situ* keratomileusis, LASIK)术后的增强手术,需要精确评估角膜瓣和角膜基质床厚度来选择增强手术的方式。目前临床上常用眼前节 OCT (anterior segment optical coherence tomography, AS-OCT) 测量屈光手术后患者角膜瓣厚度<sup>[13]</sup>,由于术后时间过长角膜瓣与基质床界面的反光效应减弱等原因,OCT 较难分辨角膜瓣的正确位置,给测量屈光手术后的角膜瓣和角膜基质厚度带来困难。ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪可精确测量角膜瓣和角膜基质床厚度,使医生能对角膜扩张的风险进行评估,对预防术后角膜扩张具有重要意义<sup>[14]</sup>,为更高要求的科研和临床诊断提供新的测量手段,为临床医生提供解决角膜屈光手术后光学并发症的相关方法。

角膜屈光手术后角膜上皮重新分布,其变化可能是由于角膜屈光手术后会发生部分屈光回退。ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪可以测量角膜上皮厚度,观察屈光手术后角膜上皮厚度的变化及其对屈光回退的影响。Reinstein等<sup>[15-16]</sup>观察近视患者 LASIK 术后角膜上皮厚度变化时发现其引起的近视漂移在低度近视患者中更明显,表明角膜上皮增厚程度与激光消融深度相关,代偿性角膜上皮厚度增加幅度随着消融深度的增加而增加,中央区比周围区增厚多,22%的角膜中央上皮增厚发生在24h内,58%的角膜中央上皮增厚发生在1d~1mo内,28%的角膜中央上皮增厚发生在1~3mo内,3~12mo角膜上皮厚度变化趋于稳定。消融区域角膜上皮增厚是导致屈光回退的原因,表明代偿性角膜上皮厚度变化会影响屈光手术效果<sup>[17]</sup>。角膜上皮细胞的重新分布也有一定益处,可以弥补角膜表面的不规则性,重建一个光滑的、对称的光学表面,改善不规则散光患者术后视觉质量和手术效果<sup>[18]</sup>。

#### 4.2 圆锥角膜的早期诊断和随访

圆锥角膜是一种中央角膜变薄、前突呈圆锥形、常伴有高度不规则散光的进行性原发性角膜变性疾病,角膜上皮厚度测量有助于圆锥角膜的早期诊断。角膜上皮重塑是圆锥角膜发展的特征<sup>[19]</sup>,是鉴别圆锥角膜的重要方法。目前临床上常用

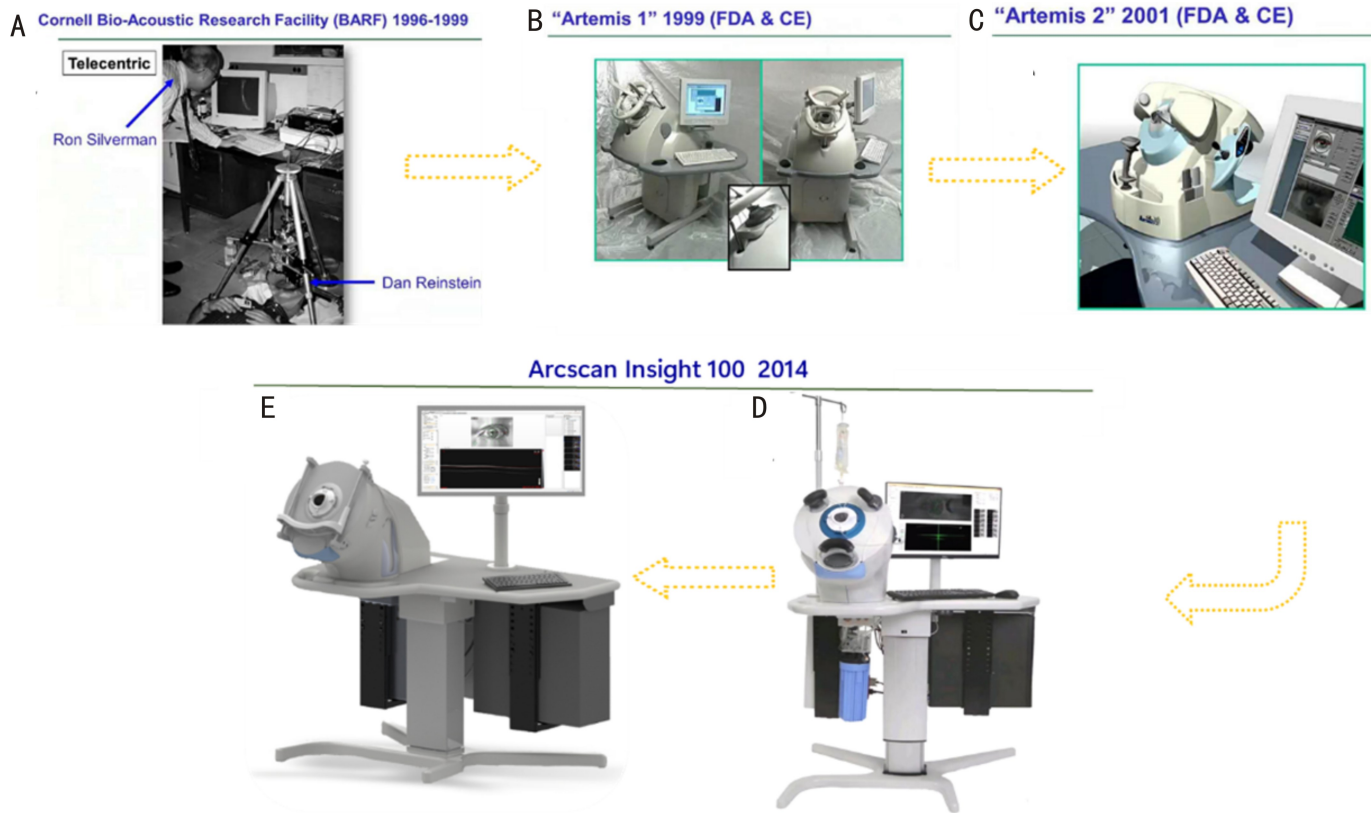


图 1 VHF 数字超声扫描系统发展史 A:1996~1999 年第一代由 Reinstein 设计的眼部扫描仪;B:1999 年更换传感器后的眼部扫描仪 Artemis-1;C:2001 年更换为灵敏度更高的铌酸锂传感器,改进后的设备命名为 Artemis-2;D、E:最新一代产品 ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪。

表 1 使用 Artemis 超高频数字超声测量眼前节数据的相关文献

参考文献	发表年份	眼数	眼部状态	检测指标	检测结果( $\bar{x}\pm s$ )	检测设备
Ogbuehi 等 <sup>[9]</sup>	2012	32	正常人眼	中央角膜厚度( $\mu\text{m}$ )	558 $\pm$ 33	Artemis-2
Ursea 等 <sup>[10]</sup>	2016	24	正常人眼	中央角膜厚度( $\mu\text{m}$ )	512.8 $\pm$ 32.4	Artemis-2
				角膜上皮厚度( $\mu\text{m}$ )	54.9 $\pm$ 2.8	Artemis-2
Al-Farhan 等 <sup>[11]</sup>	2012	61	正常人眼	中央角膜厚度( $\mu\text{m}$ )	554.9 $\pm$ 31.7	Artemis-2
Reinstein 等 <sup>[32]</sup>	2022	147	ICL 术后	拱高( $\mu\text{m}$ )	567 $\pm$ 121	ArcScan Insight 100
Zhang 等 <sup>[34]</sup>	2022	50	正常人眼	鼻侧睫状肌面积( $\text{mm}^2$ )	1.71 $\pm$ 0.41	ArcScan Insight 100
				鼻侧睫状肌厚度(mm)	0.43 $\pm$ 0.08	ArcScan Insight 100
				鼻侧睫状肌长度(mm)	4.18 $\pm$ 0.60	ArcScan Insight 100

Pentacam 角膜地形图显示的角膜前后表面曲率、角膜表面高度、角膜厚度建立的变量模型用以区分圆锥角膜与正常角膜<sup>[20]</sup>,但不能观察角膜上皮的变化,ArcScan Insight 100 VHF 数字超声扫描仪的内置软件系统有根据角膜上皮厚度变化进行圆锥角膜筛查、排除及评估圆锥角膜严重程度的逐步线性判别分析和 6 个变量模型,可通过不同散光轴上的角膜上皮厚度分布情况识别亚临床圆锥角膜<sup>[21]</sup>,其原理是根据圆锥角膜患者的角膜前表面曲率、角膜后表面曲率、角膜厚度等建立逐步线性判别分析(linear discriminant analysis, LDA)变量模型,根据模型下的敏感性与特异度识别圆锥角膜并判别圆锥角膜的严重程度<sup>[22]</sup>。Reinstein 等<sup>[23]</sup>使用 Artemis VHF 数字超声扫描仪测量圆锥角膜患者角膜地形图显示角膜上皮层呈现“甜甜圈模型”,其特征表现为角膜中央上皮增厚较少的区域被周边增厚较多的上皮环包围。远视患者行 LASIK 术的

目的是使中央角膜曲率变陡,术中取出透镜为凹透镜,术后角膜形态与圆锥角膜相似,故远视术后的角膜上皮厚度曲线变化可能遵循圆锥角膜的相似模式,显示为“甜甜圈模型”<sup>[16]</sup>。因此,角膜上皮厚度变化在圆锥角膜识别中非常重要,将可疑圆锥角膜确定为非圆锥角膜<sup>[24]</sup>,也可以作为评估圆锥角膜和紫外线-核黄素交联术后角膜扩张是否进展的指标<sup>[25]</sup>。

**4.3 有晶状体眼人工晶状体植入术** 有晶状体眼后房型人工晶状体(implantable collamer lens, ICL)植入术是矫正高度近视的有效手段,对于不适合行角膜激光屈光矫正的中低度近视患者也是一种有效补充方法<sup>[26]</sup>。将 ICL 植入睫状沟内,具有可靠的眼内稳定性。ICL 手术成功的重要标志之一是术后具有理想的拱高<sup>[27]</sup>,拱高是 ICL 后表面到透明晶状体前囊膜的直线距离,过高的拱高具有造成房角关闭导致继发青光眼的风险<sup>[28]</sup>,而过低的拱高则具有



引起白内障的风险<sup>[29]</sup>。ICL有4种大小不同型号,既往ICL型号的选择一般依据角膜横径白到白(white to white, WTW),并且参考ACD的大小适当调整ICL型号,但有研究表明WTW与STS之间相关性并不一致<sup>[30]</sup>。与单纯根据WTW及ACD用于STAAR公司在线计算系统(Online calculating & Ordering System, OCOS)进行ICL尺寸的测算相比,通过ArcScan Insight 100 VHF数字超声扫描仪测量的ACD、ATA、ACW、ACA、STS、STSL、CLR和CBID等眼前节参数可输入ArcScan Insight 100 VHF数字超声扫描仪专用ICL在线计算系统(www.iclsizing.com),从而得出各个尺寸的ICL植入后的预测拱高值<sup>[31]</sup>,同时考虑了ATA、STS等比WTW更为真实的眼内空间水平距离,以及CLR和STSL代表的晶状体厚度对术后拱高的影响。目前ArcScan Insight 100 VHF数字超声扫描仪已在国内外应用于ICL术前评估睫状突大小及测量CBID,并推导拱高预测公式<sup>[32]</sup>,其对于ICL术后拱高的预测具有更高的准确性和可靠性。

## 5 小结

综上所述,ArcScan Insight 100 VHF数字超声扫描仪是一种超高频非接触式超声生物显微镜,其可以准确测量眼前节生物学参数、清楚观察前后囊袋表面和有效人工晶状体位置<sup>[33]</sup>以及虹膜后结构的高清图像<sup>[34]</sup>,这会极大改善患者检查时的体验及晶状体屈光手术效果。目前,ArcScan Insight 100 VHF数字超声扫描仪已经逐步应用于临床,关于其在角膜屈光手术、ICL植入术和早期圆锥角膜诊断中的应用已取得一定进展,但在白内障、青光眼及眼外伤等检测与管理中的应用仍有待进一步研究。随着ArcScan Insight 100 VHF数字超声扫描仪在临床应用的推广,大量研究的开展及长时间的数据积累,其在临床中的应用范围将不断扩展。

## 参考文献

- 1 李峰,赵志慧,陈爽,等. Pentacam眼前节分析系统研究散光与圆锥角膜的关系. 国际眼科杂志 2022; 22(4): 669-672
- 2 毕文娇,吴洁,郭振,等. 五种方法测量近视患者中央角膜厚度的研究. 国际眼科杂志 2020; 20(7): 1286-1289
- 3 Garcia PN, Chamon W, Allemann N. Comparability of corneal thickness and opacity depth assessed by OCT and UBM. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 2021; 259(7): 1915-1923
- 4 Reinstein DZ, Silverman RH, Coleman DJ. High-frequency ultrasound measurement of the thickness of the corneal epithelium. *Refract Corneal Surg* 1993; 9(5): 385-387
- 5 Silverman RH, Reinstein DZ, Raevsky T, et al. Improved system for sonographic imaging and biometry of the cornea. *J Ultrasound Med* 1997; 16(2): 117-124
- 6 Reinstein DZ, Silverman RH, Raevsky T, et al. Arc-scanning very high-frequency digital ultrasound for 3D pachymetric mapping of the corneal epithelium and stroma in laser *in situ* keratomileusis. *J Refract Surg* 2000; 16(4): 414-430
- 7 Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M, et al. Repeatability of layered corneal pachymetry with the Artemis very high-frequency digital ultrasound arc-scanner. *J Refract Surg* 2010; 26(9): 646-659
- 8 AlFarhan HM. Measurements of central corneal thickness using two immersion ultrasound techniques and optical technique. *J Pak Med Assoc* 2014; 64(3): 266-270

- 9 Ogbuehi KC, Osuagwu UL. Repeatability and interobserver reproducibility of Artemis-2 high-frequency ultrasound in determination of human corneal thickness. *Clin Ophthalmol* 2012; 6: 761-769
- 10 Urs R, Lloyd HO, Reinstein DZ, et al. Comparison of very-high-frequency ultrasound and spectral-domain optical coherence tomography corneal and epithelial thickness maps. *J Cataract Refract Surg* 2016; 42(1): 95-101
- 11 Al-Farhan HM, Al-Otaibi WM. Comparison of central corneal thickness measurements using ultrasound pachymetry, ultrasound biomicroscopy, and the Artemis-2 VHF scanner in normal eyes. *Clin Ophthalmol* 2012; 6: 1037-1043
- 12 Ursea R, Feng M, Urs R, et al. Comparison of Artemis 2 ultrasound and Visante optical coherence tomography corneal thickness profiles. *J Refract Surg* 2013; 29(1): 36-41
- 13 Abdelazeem K, Sharaf M, Saleh MGA, et al. Relevance of swept-source anterior segment optical coherence tomography for corneal imaging in patients with flap-related complications after LASIK. *Cornea* 2019; 38(1): 93-97
- 14 Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Lenticule thickness readout for small incision lenticule extraction compared to Artemis three-dimensional very high-frequency digital ultrasound stromal measurements. *J Refract Surg* 2014; 30(5): 304-309
- 15 Reinstein DZ, Srivannaboon S, Gobbe M, et al. Epithelial thickness profile changes induced by myopic LASIK as measured by Artemis very high-frequency digital ultrasound. *J Refract Surg* 2009; 25(5): 444-450
- 16 Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M, et al. Epithelial thickness after hyperopic LASIK: three-dimensional display with Artemis very high-frequency digital ultrasound. *J Refract Surg* 2010; 26(8): 555-564
- 17 Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Improved effectiveness of transepithelial PTK versus topography-guided ablation for stromal irregularities masked by epithelial compensation. *J Refract Surg* 2013; 29(8): 526-533
- 18 Salomão MQ, Hofling-Lima AL, Lopes BT, et al. Role of the corneal epithelium measurements in keratorefractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol* 2017; 28(4): 326-336
- 19 Serrao S, Lombardo G, Cali C, et al. Role of corneal epithelial thickness mapping in the evaluation of keratoconus. *Contact Lens Anterior Eye* 2019; 42(6): 662-665
- 20 Imbornoni LM, McGhee CNJ, Belin MW. Evolution of keratoconus: from diagnosis to therapeutics. *Klin Monbl Augenheilkd* 2018; 235(6): 680-688
- 21 Sedaghat MR, Momeni-Moghaddam H, Azimi A, et al. Comparison of epithelial thickness mapping in normal corneas with different types of astigmatism. *Optom Vis Sci* 2022; 99(5): 443-448
- 22 Silverman RH, Urs R, Roychoudhury A, et al. Epithelial remodeling as basis for machine-based identification of keratoconus. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2014; 55(3): 1580-1587
- 23 Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Corneal epithelial thickness profile in the diagnosis of keratoconus. *J Refract Surg* 2009; 25(7): 604-610
- 24 Reinstein DZ, Archer TJ, Gobbe M. Stability of LASIK in topographically suspect keratoconus confirmed non-keratoconic by Artemis VHF digital ultrasound epithelial thickness mapping: 1-year follow-up. *J Refract Surg* 2009; 25(7): 569-577
- 25 Reinstein DZ, Gobbe M, Archer TJ, et al. Epithelial thickness profile as a method to evaluate the effectiveness of collagen cross-linking

treatment after corneal ectasia. *J Refract Surg* 2011; 27(5): 356–363

26 Yesilirmak N, Davis Z, Yoo SH. Refractive surgery (SMILE vs. LASIK vs. phakic IOL). *Int Ophthalmol Clin* 2016; 56(3): 137–147

27 Zhang X, Chen X, Wang XY, et al. Analysis of intraocular positions of posterior implantable collamer lens by full – scale ultrasound biomicroscopy. *BMC Ophthalmol* 2018; 18(1): 114

28 Navarrete Argüello J, Bello López Portillo H, Cantero Vergara MA, et al. Intraocular pressure fluctuations in patients implanted with an implantable collamer lens (ICL V4c). Three–month follow–up. *Arch Soc Esp Ophthalmol (Engl Ed)* 2019; 94(8): 367–376

29 Owaidhah O, Al–Ghadeer H. Bilateral cataract development and pupillary block glaucoma following implantable collamer lens. *J Curr Glaucoma Pract* 2021; 15(2): 91–95

30 Chen X, Han T, Zhao WX, et al. Effect of the difference between the white–to–white and sulcus–to–sulcus on vault and the related factors

after ICL implantation. *Ophthalmol Ther* 2021; 10(4): 947–955

31 Reinstein DZ, Vida RS, Archer TJ. Visual outcomes, footplate position and vault achieved with the visian implantable collamer lens for myopic astigmatism. *Clin Ophthalmol* 2021; 15: 4485–4497

32 Reinstein DZ, Archer TJ, Vida RS, et al. New sizing parameters and model for predicting postoperative vault for the implantable collamer lens posterior chamber phakic intraocular lens. *J Refract Surg* 2022; 38(5): 272–279

33 Li XY, Chang PJ, Li ZL, et al. Agreement between anterior segment parameters obtained by a new ultrasound biomicroscopy and a swept–source Fourier–domain anterior segment optical coherence tomography. *Expert Rev Med Devices* 2020; 17(12): 1333–1340

34 Zhang XY, Wu QX, Wen TC, et al. *In vivo* analysis of ciliary muscle in myopic Chinese young adults using ArcScan Insight<sup>®</sup> 100. *Ophthalmic Physiol Opt* 2022; 42(3): 559–570