












Evaluation of the Agreement of Advanced Corneal Explorer with Pentacam and Orbscan in Myopic Individuals with Healthy Corneas

Mohammad-Hosein Validad (M.D)¹ , Hava Shafiee (M.Sc)² , Monireh Mahjoob (Ph.D)³ 
Tahereh Rakhshandadi (Ph.D)³ , Hadi Ostadimoghaddam (Ph.D)^{*4} , Abbas-Ali Yekta (Ph.D)⁴ 
Javad Heravian Shandiz (Ph.D)⁴ , Neda Nakhjavanpour (M.Sc)² , Sara Farsi (M.Sc)² 

¹ Assistant Professor, Ophthalmologist, Department of Ophthalmology, Alzahra Eye Hospital, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran. ² M.Sc in Optometry, Department of Optometry, School of Rehabilitation Sciences, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran. ³ Associate Professor, Ph.D in Optometry, Department of Optometry, School of Rehabilitation Sciences, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran. ⁴ Professor, Ph.D in Optometry, Refractive Error Research Center, Department of Optometry, School of Rehabilitation Sciences, Mashhad University of Medical Sciences, Mashhad, Iran.

Research Article

Abstract

Background and Objective: Evaluating the agreement among various corneal imaging devices is crucial due to their varying technologies in diagnosing corneal parameters. This study aimed to assess the agreement of Advanced Corneal Explorer (ACE) with Pentacam and Orbscan in myopic individuals with healthy corneas.

Methods: This descriptive-analytical study was conducted on 45 myopic individuals (25 women and 20 men; mean age=30.37±6.13 years) referring to Al-Zahra Ophthalmology Hospital in Zahedan, Iran, during 2023. Anterior segment imaging was performed using three devices: ACE, Pentacam, and Orbscan. Corneal parameters, including topography, tomography, and corneal aberrations, were examined. The intraclass correlation coefficient (ICC) and 95% limits of agreement (LoA) were used to evaluate the agreement of ACE data with the data obtained from the other two devices.

Results: ACE exhibited good agreement with Pentacam for the mean power (ICC=0.97), maximum power (ICC=0.98), and minimum power of the anterior corneal surface (ICC=0.97) (P<0.05). Additionally, ACE exhibited good statistical agreement with Orbscan for the mean power of the anterior corneal surface due to an ICC of 0.98 (P<0.05). The ICC values for central corneal thickness and thinnest corneal thickness with the ACE and Pentacam devices were 0.99 and 0.95, respectively, indicating significant statistical agreement (P<0.05). White-to-white distance, pupil size, and corneal aberrations did not show good agreement among the three devices (ICC<0.75).

Conclusion: Topography values and corneal thickness measured with ACE showed good agreement with Pentacam; therefore, they can be used interchangeably. Other measured variables from ACE did not show good agreement with Pentacam and Orbscan and are not interchangeable.

Keywords: Cornea, Corneal Topography, Myopia

*Corresponding Author: Hadi Ostadimoghaddam (Ph.D), E-mail: ostadih@mums.ac.ir



Received 8 Jan 2025 Received in revised form 1 Mar 2025 Accepted 2 Mar 2025 Available Online 3 Jul 2025

Cite this article as: Validad MH, Shafiee H, Mahjoob M, Rakhshandadi T, Ostadimoghaddam H, Yekta AA, et al. [Evaluation of the Agreement of Advanced Corneal Explorer with Pentacam and Orbscan in Myopic Individuals with Healthy Corneas]. J Gorgan Univ Med Sci. 2025; 27(2): 50-60. [Article in Persian]





Introduction

Today, measuring the topographic and tomographic parameters of the eye's anterior segment is crucial for diagnosing and managing corneal and ocular diseases, detecting and monitoring keratoconus, performing corneal transplants, fitting contact lenses, and implanting intraocular lenses. Additionally, accurate and reliable corneal thickness measurement is essential in corneal refractive surgery, especially for patients with high myopia. These applications underscore the significance of developing advanced topographic tools and methods for evaluating both the anterior and posterior corneal surfaces. Moreover, corneal imaging devices equipped with wavefront analysis can measure higher-order corneal aberrations. Corneal aberrations significantly impact visual quality and are known to increase considerably after refractive surgery. Various devices are currently employed to assess corneal parameters. The Advanced Corneal Explorer (ACE), a high-resolution swept-source optical coherence tomography (SS-OCT) device, has recently been introduced to the market. It offers high-quality assessment of the eye's anterior segment through multimodal imaging, utilizing an optimized platform to capture high-resolution images. Orbscan utilizes slit-scanning technology to sequentially capture 20 slit images of the cornea. These images are then employed by the device to reconstruct both the anterior and posterior corneal surfaces. Subsequently, corneal thickness is determined by subtracting the height of the anterior surface from the height of the posterior surface. Pentacam, utilizing a rotating Scheimpflug camera, provides quantitative data on both the anterior and posterior corneal surfaces. It is also capable of anterior chamber modeling and corneal biometry, the reliability of which in measuring central corneal thickness, anterior chamber depth, and anterior and posterior corneal curvature and power has been widely affirmed. Given the importance of accurate and reliable measurement of anterior segment parameters in the diagnosis and management of corneal diseases, this study was conducted to evaluate the agreement of ACE with Pentacam and Orbscan in myopic individuals with healthy corneas.

Methods

This descriptive-analytical study was conducted on 45 myopic individuals (25 females and 20 males) aged 20 to 40 years referring to Al-Zahra Ophthalmology Hospital in Zahedan, Iran, during 2023. The samples were selected using a convenience non-probability sampling method.

Initially, a comprehensive ocular examination, including slit-lamp biomicroscopy and funduscopy, was performed by an ophthalmologist to assess overall ocular health. Subsequently, optometric examinations, including refractive error determination using an autorefractometer (Topcon KR-1), subjective refraction, recording of best corrected and uncorrected distance visual acuity in LogMAR, and all anterior segment imaging, were conducted by a skilled optometrist. Anterior segment imaging was performed using the ACE (ACE, Technolas Perfect Vision GmbH, München, Germany), a SS-OCT device with a high-wavelength light source (1300 nm), a Pentacam (Pentacam HR, Oculus, Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany), equipped with a 360-degree Scheimpflug camera mechanism, and an Orbscan II (Orbscan II, Bausch & Lomb, Orbtek Inc., Salt Lake City,

United States), equipped with both Placido disc and scanning slit systems.

The corneal parameters investigated included corneal topography (mean power and maximum and minimum power of the anterior and posterior corneal surfaces), corneal tomography (central corneal thickness and thinnest corneal thickness), anterior corneal surface aberrations, total corneal aberrations, pupil diameter, and white-to-white distance.

To statistically assess the agreement of ACE data with two other devices, the intraclass correlation coefficient (ICC) and 95% limits of agreement (LoA) were employed. The ICC is a widely used reliability index in agreement analyses. An ICC of less than 0.75 is classified as poor agreement, an ICC between 0.75 and 0.90 as moderate agreement, and an ICC greater than 0.9 as good agreement. The 95% LoA were calculated as the mean difference ± 1.96 times the standard deviation of the differences between the two measurement methods. According to previous studies, LoAs of ± 0.5 dpt (range of 1 dpt) for corneal powers, ± 10 μ m (range of 20 μ m) for corneal thickness, ± 0.5 mm (range of 1 mm) for diameters, and ± 0.1 μ m (range of 0.2 μ m) for aberrations were defined as clinically acceptable agreement between instruments. Further, Bland-Altman plots were utilized to illustrate the agreement of several key variables.

Results

The participants' mean spherical equivalent refractive error was -2.75 ± 1.45 dpt (range of -0.50 to -5.00 dpt), and the corrected distance visual acuity for all patients was 6.6.

The mean differences in corneal topography, tomography, and aberrations obtained by ACE were compared with Pentacam and Orbscan, including their ICCs and 95% LoA among participants.

Based on the ICC and 95% LoA, the ACE device demonstrated good statistical and clinical agreement with Pentacam for mean corneal anterior surface power (ICC = 0.97), maximum power (ICC = 0.98), and minimum power (ICC = 0.97). Similarly, it showed good agreement with Orbscan for mean corneal anterior surface power (ICC = 0.98), with 95% LoA (less than 1 dpt) ($P < 0.001$). However, ACE showed an intermediate ICC for maximum and minimum anterior corneal power (ICC = 0.76) and 95% LoA greater than 1 dpt difference with Orbscan. Clinically, the agreement between these two devices for maximum and minimum anterior corneal power was not acceptable.

The central corneal thickness and thinnest corneal thickness measurements obtained with ACE and Pentacam showed good statistical and clinical agreement, with ICCs of 0.99 and 0.95, respectively, and 95% LoA less than 20 microns. In contrast, the central corneal thickness and thinnest corneal thickness measurements obtained with ACE demonstrated good statistical agreement with Orbscan (ICCs of 0.95 and 0.97, respectively); however, 95% LoA of 51.58 and 37.9 microns obtained for the central corneal thickness and thinnest corneal thickness, respectively, indicated no significant clinical agreement between these devices.

The ICC values for white-to-white distance were found to be 0.81 for both the ACE and Pentacam devices and 0.58 for Anterior and Orbscan. Additionally, the 95% LoA between these devices were greater than 1 mm. The ICCs for pupil size between ACE and Pentacam were 0.14, and between



ACE and Orbscan were 0.08, indicating very poor agreement.

Furthermore, anterior surface and total corneal aberrations exhibited poor agreement between ACE and Pentacam due to a low ICC (< 0.75) and a difference greater than 0.2 microns between the two devices for all aberrations.

Bland-Altman plots of corneal topography and tomography (the difference between the two values obtained for each individual versus the mean of the two values obtained for each individual) were generated between the ACE device and both Pentacam and Orbscan. The range between the upper and lower limits (95% LoA) for ACE with Pentacam was narrow for anterior and posterior corneal surface power, central corneal thickness, and thinnest corneal thickness, revealing good agreement between these two devices for these parameters. However, for other parameters, this range was wide, suggesting a lack of agreement between the devices.

Conclusion

Based on the results of the present study, ACE showed good clinical agreement with Pentacam for the mean power and the maximum and minimum anterior and posterior corneal power, and with Orbscan for the mean anterior corneal power. This was evidenced by high ICC values and 95% LoA less than 1 dpt. However, for other corneal topography parameters, ACE did not show good agreement with Orbscan in myopic individuals.

Our study's findings also revealed that ACE had good agreement with Pentacam for central corneal thickness and thinnest corneal thickness, due to good ICC values and a difference of less than 20 microns.

In our study, ACE exhibited no acceptable statistical and clinical agreement for white-to-white distance and pupil size with the Pentacam and Orbscan devices. A probable reason for the disagreement in pupil size measurements obtained by corneal imaging devices in this research and previous studies may be the lack of control over ambient lighting conditions during measurement. Although corneal imaging is generally performed in relative dim light conditions, placing a black cloth over the patient's head in a Pentacam device can culminate in greater pupil dilation due to increased darkness. This practice may lead to further pupillary dilation due to the increased darkness. Given that accurate pupil size measurement is particularly crucial for cataract surgeries, it is recommended that both the measurement device and the lighting conditions be recorded when this parameter is documented.

Corneal aberration measurements are crucial for assessing individuals' quality of vision, particularly after contact lens fitting and refractive surgery. Based on the results of this study, anterior and total corneal aberrations did not show good statistical and clinical agreement between the ACE and

Pentacam devices, due to low ICC values and differences greater than 0.2 microns between the two devices.

Discrepancies between the studied devices may stem from differences in imaging technology, such as Scheimpflug technology in Pentacam, slit-scanning in Orbscan, and SS-OCT in ACE. Differences in data processing algorithms, sampling point density, and environmental factors may also influence the measurement results.

Ethical Statement

The study received approval from the Research Ethics Committee at Mashhad University of Medical Sciences (IR.MUMS.REC.1402.137). Patients were enrolled in the study after a comprehensive explanation of the study procedures and obtaining written informed consent.

Funding

This article has been extracted from the doctoral dissertation of Dr. Tahereh Rakhshandadi in Optometry at the School of Paramedical Sciences, Mashhad University of Medical Sciences. This study was funded by the Vice-Chancellor for Research and Technology, Mashhad University of Medical Sciences.

Authors' Contributions

Mohammad-Hosein Validad: Project administration and design.

Hava Shafiee: Drafting of the initial manuscript.

Monireh Mahjoob: Data analysis and interpretation of the results.

Tahereh Rakhshandadi: Project execution and data collection.

Hadi Ostadimoghaddam: Project administration and design and approval of the final manuscript.

Abbas-Ali Yekta: Project administration and design and approval of the final manuscript.

Javad Heravian Shandiz: Project administration and design and approval of the final manuscript.

Neda Nakhjavanpour: Interpretation of the results.

Sara Farsi: Interpretation of the results and approval of the final manuscript.

Conflicts of Interest

No conflicts of interest.

Acknowledgments

We would like to thank the Vice-Chancellor for Research and Technology at Mashhad University of Medical Sciences and to the Optometry and Paraclinical Department of Al-Zahra Ophthalmology Hospital for their cooperation in the implementation of this study.

Corneal topographic and thickness measurements obtained with ACE showed good agreement with Pentacam, indicating their interchangeability. However, other variables measured by ACE did not demonstrate good agreement with either Pentacam or Orbscan, and thus are not interchangeable.



تحقیقی

ارزیابی میزان توافق دستگاه تصویربرداری جستجوگر قرنیه پیشرفته با پنتاکم و اورب اسکن در افراد نزدیک بین با قرنیه سالم

محمدحسین ولیداد^۱، حوا شفیعی^۲ ID، دکتر منیره محبوب^۳ ID، دکتر طاهره رخشان دادی^۳ ID، دکتر هادی استادی مقدم^{۴*} ID، دکتر عباسعلی یکتا^۴ ID، دکتر جواد هرویان شاندیز^۴ ID، ندا نخجوان پور^۲ ID، سارا فارسی^۲ ID

۱) استادیار، فوق تخصص چشم، گروه چشم پزشکی، بیمارستان چشم پزشکی الزهرا، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران. ۲) فوق لیسانس اپتومتری، گروه اپتومتری، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران. ۳) دانشیار، دکتر تخصصی، گروه اپتومتری، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران. ۴) استاد، دکتر تخصصی، مرکز تحقیقات عیوب انکساری، گروه اپتومتری، دانشکده پیراپزشکی و علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: بررسی توافق دستگاه‌های تصویربرداری قرنیه به دلیل تکنولوژی متفاوت در این دستگاه‌ها در تشخیص پارامترهای قرنیه بسیار مهم است. این مطالعه به منظور ارزیابی میزان توافق دستگاه تصویربرداری جستجوگر قرنیه (Advanced Corneal Explorer: ACE) پیشرفته با پنتاکم و اورب اسکن در افراد نزدیک بین با قرنیه سالم انجام شد.

روش بررسی: این مطالعه توصیفی تحلیلی روی ۴۵ فرد نزدیک بین (۲۵ زن و ۲۰ مرد) با میانگین سنی ۳۰/۳۷±۶/۱۳ سال مراجعه کننده به بیمارستان چشم پزشکی الزهراء زاهدان طی سال ۱۴۰۲ انجام شد. تصویربرداری سگمان قدامی با سه دستگاه ACE، پنتاکم و ارب اسکن انجام شد. پارامترهای قرنیه شامل توپوگرافی، توموگرافی و ابیراهی‌های قرنیه بررسی شدند. برای بررسی توافق داده‌های ACE با دو دستگاه دیگر از ضریب همبستگی درون کلاسی ICC و حدود توافق ۹۵ درصد استفاده شد.

یافته‌ها: دستگاه ACE با پنتاکم در میانگین قدرت ($ICC=0/97$)، قدرت حداکثر ($ICC=0/98$) و قدرت حداقل سطح قدام ($ICC=0/97$) قرنیه توافق خوبی را نشان داد ($P<0/05$). همچنین ACE با ارب اسکن در میانگین قدرت سطح قدام قرنیه به دلیل ICC برابر با $0/98$ توافق آماری خوبی را نشان داد ($P<0/05$). ICC برای ضخامت مرکزی و نازکترین ضخامت قرنیه با دو دستگاه ACE و پنتاکم به ترتیب $0/99$ و $0/90$ به دست آمد که توافق آماری با اهمیتی را نشان داد ($P<0/05$). فاصله وایت تو وایت، سایز مردمک و ابیراهی‌های قرنیه توافق خوبی را بین سه دستگاه نشان ندادند ($ICC<0/75$).

نتیجه گیری: مقادیر توپوگرافی و ضخامت قرنیه اندازه گیری شده با ACE توافق خوبی با پنتاکم داشتند؛ لذا قابل جایگزینی با یکدیگرند. سایر متغیرهای اندازه گیری شده ACE با پنتاکم و ارب اسکن توافق خوبی نداشتند و قابل جایگزینی با یکدیگر نیستند.

واژه‌های کلیدی: قرنیه، توپوگرافی قرنیه، ارب اسکن

* نویسنده مسؤول: دکتر هادی استادی مقدم، پست الکترونیکی: ostadih@mums.ac.ir

نشانی: مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه فردوسی، ساختمان خوارزمی، دانشکده پیراپزشکی و علوم توانبخشی، گروه اپتومتری، تلفن ۰۵۱-۳۸۸۴۶۷۱۰

وصول ۱۴۰۳/۱۰/۱۹ اصلاح نهایی ۱۴۰۳/۱۲/۱۱ پذیرش ۱۴۰۳/۱۲/۱۲ انتشار ۱۴۰۴/۴/۱۲

مقدمه

امروزه اندازه گیری پارامترهای توپوگرافی و توموگرافی سگمان قدامی چشم برای تشخیص و مدیریت بیماری‌های قرنیه و چشم، تشخیص و پیگیری قوزقرنیه، پیوند قرنیه، فیت لنزهای تماسی و کاشت لنزهای داخل چشمی اهمیت دارند.^{۱-۵} همچنین اندازه گیری دقیق و معتبر ضخامت قرنیه در جراحی انکساری قرنیه‌ای به ویژه در بیماران مبتلا به نزدیک بینی بالا بسیار مهم است. زیرا تخمین بیش از حد ضخامت قرنیه می‌تواند خطر اکتازی قرنیه بعد از عمل را

افزایش دهد و تخمین کمتر از حد نیز ممکن است به طرد ناخواسته بیماران به دلیل نگرانی در مورد ضخامت ناکافی قرنیه منجر شود.^۶ این کاربردها اهمیت توسعه ابزارها و روش‌های توپوگرافی برای ارزیابی سطوح قدامی و خلفی قرنیه را نشان می‌دهند. همچنین ابزارهای تصویربرداری قرنیه با تحلیل و آنالیز جبهه موج، ابیراهی‌های مرتبه بالاتر قرنیه را نیز اندازه گیری می‌کنند.^{۸،۹} ابیراهی‌ها اثر قابل ملاحظه و مهمی بر روی کیفیت بینایی گذاشته و از نظر بالینی به طور قابل توجهی بعد از جراحی انکساری افزایش

سیستمیک یا چشمی مانند دیابت، فشارخون بالا، قوز قرنیه، ناخنک، بیماری ملتحمه و قرنیه بودند. معیارهای خروج از مطالعه شامل افرادی با سابقه جراحی چشمی، افراد استفاده کننده از لنز تماسی کمتر از سه هفته قبل از مطالعه و نیز زنان در دوره حاملگی و شیردهی بودند.

ابتدا معاینه کامل چشمی شامل اسلیت لمپی و فوندوسکوپی توسط یک چشم‌پزشک برای بررسی سلامتی چشم انجام شد. سپس معاینات اپتومتری شامل تعیین عیوب انکساری افراد شرکت کننده با اتورفرکتومتر (Topcon KR-1)، سابعکیو رفرکشن، ثبت بهترین تیزیابی دور اصلاح شده و نشده به صورت Log MAR و تمام تصویربرداری‌های سگمان قدیمی توسط یک اپتومتریست ماهر انجام گردید. از دستگاه‌های تصویربرداری سگمان قدیمی ACE (ACE, Technolas Perfect Vision GmbH, München, Germany) که یک دستگاه SS-OCT با یک منبع نور با طول موج بالا (۱۳۰۰ نانومتر) است؛ پنتاکم (Pentacam HR, Oculus; Optikgeräte GmbH, Wetzlar, Germany) با مکانیسم دوربین شیم فلاگ ۳۶۰ درجه و ارب اسکن (Orbscan II, Bausch & Lomb, Ortek Inc., Salt Lake City, United States) که دارای هر دو سیستم پلاسیدو دیسک و اسکن شکاف هستند؛ استفاده شد.

به دلیل اثر لایه اشکی بر روی اندازه‌گیری سطح قدیمی قرنیه حداقل ۵ دقیقه فاصله زمانی بین دستگاه‌های مختلف در نظر گرفته شد. از بیماران خواسته شد تا بین اندازه‌گیری‌ها به‌طور معمول پلک بزنند و در طول اندازه‌گیری هر دو چشم خود را باز نگه دارند. همچنین از آنها خواسته شد تا روی یک هدف تثبیت داخلی تمرکز کنند. تمام اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۹ تا ۱۱ صبح در شرایط نوری کم ثبت شد. همچنین ترتیب اجرای سه دستگاه برای هر شرکت کننده به صورت تصادفی مشخص شد.

پارامترهای قرنیه بررسی شده شامل توپوگرافی قرنیه (میانگین قدرت، حداکثر و حداقل قدرت سطح قدیمی و خلف قرنیه)، توموگرافی قرنیه (ضخامت مرکزی قرنیه و ضخامت نازک‌ترین قسمت قرنیه)، ابیراهی‌های سطح قدیمی قرنیه و ابیراهی‌های کل قرنیه، دیامتر مردمک و وایت تو وایت بود. با توجه به این که دستگاه ارب اسکن ابیراهی‌های کل چشم را محاسبه می‌کند؛^{۱۴} لذا مقایسه ابیراهی‌های دستگاه ACE با ارب اسکن به دلیل تفاوت در نوع ابیراهی اندازه‌گیری شده؛ انجام نشد و فقط توافق ابیراهی‌ها برای دستگاه ACE با پنتاکم بررسی گردید.

حداقل حجم نمونه برای بررسی توافق متغیرها در اندازه‌گیری با دو وسیله مختلف، با استفاده از نرم‌افزار G Power 3.1.9.2 با قدرت موثر محاسبه شده ۰/۶۳ براساس میانگین تفاوت قدرت حداکثر سطح قدیمی قرنیه برابر با ۰/۱۲ و انحراف معیار ۰/۱۹ بین دستگاه

می‌یابند.^{۱۴،۹} امروزه از دستگاه‌های مختلفی برای ارزیابی پارامترهای قرنیه استفاده می‌شود. دستگاه جستجوگر قرنیه پیشرفته (Advanced corneal explorer: ACE) که یک دستگاه SS-OCT (Swept-source optical coherence tomography) با رزولیشن بالا است؛ بتازگی به بازار عرضه شده و امکان ارزیابی سگمان قدیمی چشم را با کیفیت بالا فراهم آورده است. این دستگاه تصویربرداری چندوجهی با استفاده از یک پلتفرم بینه‌سازی، تصاویر با وضوح بالا می‌گیرد.^۱ ارب اسکن با فناوری اسکن شکافی به‌طور متوالی ۲۰ تصویر شکافی از قرنیه می‌گیرد و تصاویر این شکاف‌ها توسط دستگاه برای بازسازی سطوح قدیمی و خلفی قرنیه استفاده می‌شود. سپس ضخامت قرنیه با تفریق ارتفاع سطح قدیمی از ارتفاع سطح خلفی تعیین می‌شود.^{۱۰} پنتاکم از یک دوربین شیم فلاگ چرخان استفاده نموده و داده‌های عددی از سطح قدیمی و خلفی قرنیه ارائه می‌دهد. همچنین پنتاکم قادر به مدل‌سازی اتاقت قدیمی و بیومتری قرنیه است و قابلیت اطمینان آن در اندازه‌گیری ضخامت مرکزی قرنیه، عمق اتاق قدیمی، انحنا و قدرت قدیمی و خلفی قرنیه به‌طور گسترده تایید شده است.^{۱۱} نتایج مطالعات گذشته در مورد توافق دستگاه‌های مختلف ارزیابی سگمان قدیمی متفاوت است. برخی مطالعات توافق کلینیکی قابل قبولی را برای پارامترهای اندازه‌گیری شده پنتاکم با دستگاه‌های سیروس و گالیله نشان دادند؛^{۱۳،۱۲} اما مطالعاتی نیز بیان کردند که بعضی پارامترهای اندازه‌گیری شده وسایل تصویربرداری قرنیه قابل جایگزینی با یکدیگر نیستند.^{۱۲} دستگاه‌های مختلف، علیرغم این که برای اهداف مشابه طراحی شده‌اند؛ ممکن است به دلیل تفاوت‌های فنی ذاتی، نتایج غیرقابل پیش‌بینی ایجاد کنند. بنابراین، همانطور که معمولاً درک می‌شود؛ برای این که یک دستگاه جدید در عمل بالینی مورد استفاده قرار گیرد؛ بایستی آن را با سایر ابزارهای موجود مقایسه کرد تا قابل جایگزینی بودنشان مشخص گردد. لذا با توجه به اهمیت اندازه‌گیری دقیق و معتبر پارامترهای سگمان قدیمی در تشخیص و مدیریت بیماری‌های قرنیه؛ این مطالعه به منظور ارزیابی میزان توافق دستگاه تصویربرداری جستجوگر قرنیه پیشرفته با پنتاکم و اورب اسکن در افراد نزدیک بین با قرنیه سالم انجام شد.

روش بررسی

این مطالعه توصیفی تحلیلی روی ۴۵ فرد نزدیک‌بین (۲۵ زن و ۲۰ مرد) با میانگین سنی ۳۰/۳۷±۹/۱۳ سال مراجعه کننده به بیمارستان چشم پزشکی الزهراء زاهدان با روش نمونه‌گیری غیراحتمالی در دسترس طی سال ۱۴۰۲ انجام شد.

معیارهای ورود به مطالعه شامل افراد در محدوده سنی ۲۰ تا ۴۰ سال و بهترین تیزیابی اصلاح شده دور ۶/۶ یا بهتر بودند.

معیارهای عدم ورود به مطالعه شامل داشتن هرگونه بیماری

جدول ۱: میانگین و انحراف معیار و حدود توافق ۹۵ درصد تفاوت توپوگرافی و توموگرافی قرنیه بین ACE با ارب اسکن و پنتاکم در افراد نزدیک بین با قرنیه سالم

متغیرها	تفاوت میانگین‌ها (حدود توافق ۹۵ درصد)	ICC	P-value
توپوگرافی قدامی	میانگین قدرت	۰/۹۷	<۰/۰۰۱
	قدرت حداکثر	۰/۹۸	<۰/۰۰۱
	قدرت حداقل	۰/۹۸	<۰/۰۰۱
ACE با ارب سکن	میانگین قدرت	۰/۹۸	<۰/۰۰۱
	قدرت حداکثر	۰/۷۶	<۰/۰۰۱
	قدرت حداقل	۰/۷۶	<۰/۰۰۱
توپوگرافی خلفی	میانگین قدرت	۰/۸۶	<۰/۰۰۱
	قدرت حداکثر	۰/۹۰	<۰/۰۰۱
	قدرت حداقل	۰/۸۷	<۰/۰۰۱
ACE با ارب سکن	میانگین قدرت	-	-
	قدرت حداکثر	-	-
	قدرت حداقل	-	-
توموگرافی	ضخامت مرکزی قرنیه	۰/۹۹	<۰/۰۰۱
	نازکترین نقطه قرنیه	۰/۹۵	<۰/۰۰۱
	دیامتر مردمک	۰/۱۴	<۰/۰۰۱
	فاصله وایت تو وایت	۰/۸۱	<۰/۰۰۱
ACE با ارب سکن	ضخامت مرکزی قرنیه	۰/۹۵	<۰/۰۰۱
	نازکترین نقطه قرنیه	۰/۹۷	<۰/۰۰۱
	دیامتر مردمک	۰/۰۸	<۰/۰۰۱
	فاصله وایت تو وایت	۰/۵۸	<۰/۰۰۱

قدرت‌های قرنیه، حدود توافق $10 \pm$ میکرومتر (محدوده ۲۰ میکرومتر) برای ضخامت قرنیه،^{۱۸} حدود توافق $0.5 \pm$ میلی‌متر (محدوده ۱ میلی‌متر) برای دیامترها^{۱۹} و حدود توافق $0.1 \pm$ میکرومتر (محدوده 0.2 میکرومتر) برای ابیراهی‌ها^{۱۹} به عنوان توافق قابل قبول بالینی بین ابزارها تعریف شدند. علاوه بر این، نمودارهای بلند-آلتنمن برای نمایش توافق برخی از متغیرهای مهم استفاده شدند. سطح معنی‌داری آزمون‌ها کمتر از 0.05 در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

میانگین عیب انکساری معادل اسفریک شرکت‌کنندگان 2.75 ± 1.45 - (دامنه 0.50 - تا 5.00 -) دیوپتر بود و تیزی اصلاح شده همه بیماران $6/6$ بود.

میانگین تفاوت توپوگرافی قرنیه، توموگرافی و ابیراهی‌های به‌دست آمده توسط ACE در مقایسه با پنتاکم و ارب اسکن، ICC ها و حدود توافق ۹۵ درصد در شرکت‌کنندگان در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

براساس ICC و حدود توافق ۹۵ درصد، دستگاه ACE با پنتاکم در

انتریون و پنتاکم به‌دست آمده در مطالعه Gim و همکاران،^۱ قدرت 0.95 و آلفای 0.05 برابر با ۲۹ نفر محاسبه شد. ۲۰ درصد این مقدار به عنوان ریزش نمونه در نظر گرفته شد که در نهایت حجم نمونه حداقل ۳۶ نفر محاسبه گردید.

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS-19 تجزیه و تحلیل شدند. برای ارزیابی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف استفاده شد. آمار توصیفی به صورت میانگین، انحراف معیار، دامنه و فاصله اطمینان ۹۵ درصد بیان شد. برای بررسی آماری توافق داده‌های ACE با دو دستگاه دیگر از ضریب همبستگی درون کلاسی (ICC) و حدود توافق (LoA) ۹۵ درصد استفاده شد. ICC یک شاخص قابلیت اطمینان پرکاربرد در تجزیه و تحلیل‌های توافق است. ICC کمتر از 0.75 توافق ضعیف، ICC بیشتر از 0.75 و کمتر از 0.90 توافق متوسط و ICC بیشتر از 0.9 توافق خوب طبقه‌بندی گردید.^{۱۶،۱۵} حدود توافق ۹۵ درصد به‌عنوان میانگین تفاوت‌ها $1.96 \pm$ انحراف معیار از تفاوت بین دو روش اندازه‌گیری محاسبه شد.^{۱۷} طبق مطالعات قبلی، حدود توافق $0.5 \pm$ دیوپتر (محدوده ۱ دیوپتر) برای

جدول ۲: میانگین و انحراف معیار و حدود توافق ۹۵ درصد تفاوت ابیراهی‌های قرنیه بین ACE با پنتاکم در افراد نزدیک بین سالم

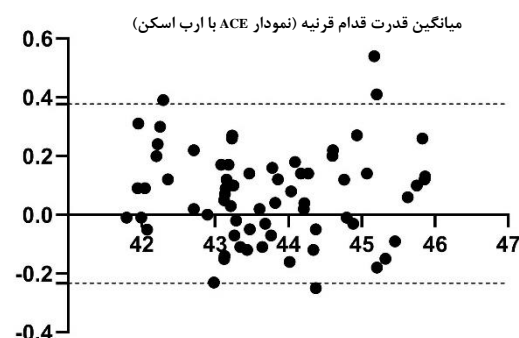
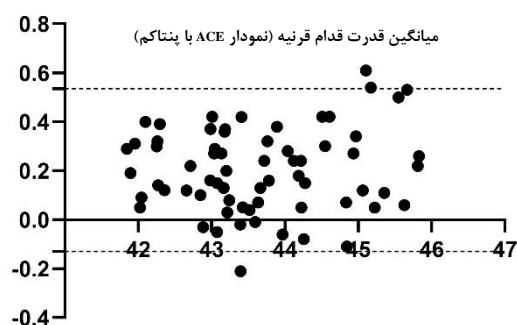
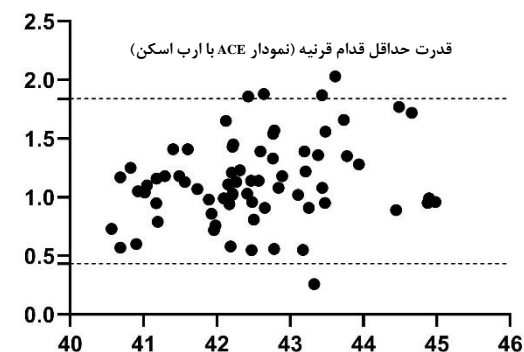
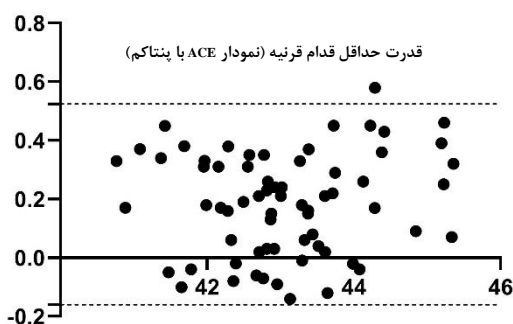
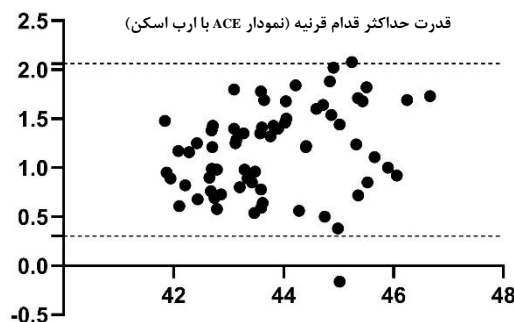
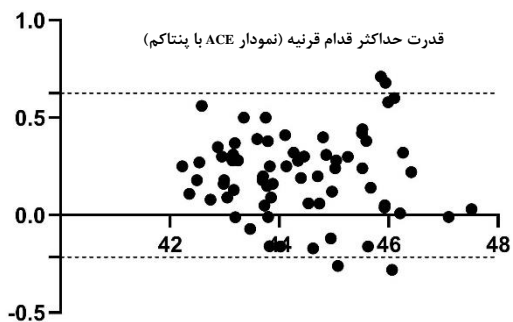
P-value	ICC	تفاوت میانگین‌ها (حدود توافق ۹۵ درصد)	متغیرها	
<۰/۰۰۱	۰/۶۱	(-۱/۶۰ تا ۱/۶۰) ۰/۰۰±۰/۸۲	تیلت عمودی	سطح قدام قرنیه
۰/۰۷	۰/۳۰	(-۱/۱۲ تا ۱/۲۲) ۰/۰۵±۰/۶۰	تیلت افقی	
<۰/۰۰۱	۰/۶۶	(-۱/۲۷ تا ۱/۰۸) -۰/۰۹±۰/۶۰	آستیگمات مایل	
۰/۹۴	۰/۱۷	(-۱/۱۸ تا ۰/۳۴) -۰/۴۲±۰/۳۹	دیفوکوس	
۰/۰۵	۰/۳۱	(-۰/۱۶ تا ۰/۲۲) ۰/۰۳±۰/۱۰	ترفویل مایل	
<۰/۰۰۱	۰/۷۲	(-۰/۳۵ تا ۰/۳۵) ۰/۰۰±۰/۱۸	کومای عمودی	
۰/۰۱	۰/۴۲	(-۰/۲۶ تا ۰/۲۸) ۰/۰۱±۰/۱۴	کومای افقی	
۰/۴۸	۰/۰۱	(-۶/۹۰ تا ۱۴/۳۶) ۰/۸۴±۶/۹۰	ترفویل افقی	
۰/۴۱	۰/۰۴	(-۰/۳۰ تا -۰/۰۴) -۰/۱۸±۰/۰۷	ابیراهی اسفیرکال	
۰/۴۳	۰/۰۱	(-۳/۸۹ تا -۰/۲۴) -۱/۸۳±۱/۰۵	RMS	
<۰/۰۰۱	۰/۵۲	(-۱/۹۱ تا ۰/۰۷) -۰/۹۲±۰/۵۱	ابیراهی مرتبه پایین تر	کل قرنیه
<۰/۰۰۱	۰/۴۴	(-۰/۳۸ تا -۰/۱۰) -۰/۲۴±۰/۰۷	ابیراهی مرتبه بالاتر	
<۰/۰۰۱	۰/۶۵	(-۱/۱۳ تا ۰/۹۷) -۰/۰۸±۰/۵۴	تیلت عمودی	
۰/۰۱	۰/۷۴	(-۰/۶۳ تا ۰/۶۵) ۰/۰۱±۰/۳۳	تیلت افقی	
<۰/۰۰۱	۰/۷۵	(-۱/۰۱ تا ۰/۹۱) -۰/۰۵±۰/۴۹	آستیگمات مایل	
۰/۴۳	۰/۰۳	(-۱/۰۶ تا ۰/۸۶) -۰/۱۰±۰/۴۹	دیفوکوس	
۰/۰۲	۰/۳۷	(-۰/۱۹ تا ۰/۳۱) ۰/۰۶±۰/۱۳	ترفویل مایل	
۰/۰۰۲	۰/۵۹	(-۰/۲۹ تا ۰/۳۳) ۰/۰۲±۰/۱۶	کومای عمودی	
<۰/۰۰۱	۰/۶۵	(-۰/۲۲ تا ۰/۲۴) ۰/۰۱±۰/۱۲	کومای افقی	
۰/۰۱	۰/۴۱	(-۰/۱۸ تا ۰/۲۰) ۰/۰۱±۰/۱۰	ترفویل افقی	
۰/۰۱	۰/۱۵	(-۰/۲۷ تا ۰/۰۰) -۰/۱۴±۰/۰۷	ابیراهی اسفیرکال	
۰/۴۶	۰/۰۱	(-۳/۴۹ تا ۰/۵۰) -۱/۴۹±۱/۰۲	RMS	
<۰/۰۰۱	۰/۵۵	(-۲/۰۷ تا ۰/۶۷) -۰/۷۰±۰/۷۰	ابیراهی مرتبه پایین تر	
۰/۰۲	۰/۳۳	(-۰/۴۸ تا -۰/۰۱) -۰/۲۵±۰/۱۲	ابیراهی مرتبه بالاتر	

ACE و پنتاکم به ترتیب ICC برابر با ۰/۹۹ و ۰/۹۵ و حدود توافق ۹۵ درصد کمتر از ۲۰ میکرون به دست آمد که توافق آماری و بالینی خوبی را نشان داد. ضخامت مرکزی و نازک‌ترین ضخامت قرنیه ACE با ارب اسکن به ترتیب ICC ۰/۹۵ و ۰/۹۷ را نشان داد که از لحاظ آماری توافق خوبی بود؛ اما حدود توافق ۹۵ درصد برای ضخامت مرکزی ۵۱/۵۸ میکرون و برای نازک‌ترین ضخامت قرنیه ۳۷/۹ میکرون به دست آمد که توافق بالینی معنی‌داری را بین این دستگاه‌ها نشان نداد.

ICC برای فاصله وایت تو وایت در دو دستگاه ACE و پنتاکم ۰/۸۱ و برای آنتریون و ارب اسکن ۰/۵۸ به دست آمد. همچنین

میانگین قدرت (ICC=۰/۹۷)، قدرت حداکثر (ICC=۰/۹۸) و قدرت حداقل سطح قدام (ICC=۰/۹۷) قرنیه و با ارب اسکن در میانگین قدرت سطح قدام قرنیه به دلیل ICC برابر با ۰/۹۸ و حدود توافق ۹۵ درصد کمتر از ۱ دیوپتر توافق آماری و بالینی خوبی را نشان داد (P<۰/۰۰۱)؛ اما دستگاه ACE با ارب اسکن، ICC متوسط برای قدرت حداکثر و حداقل سطح قدام قرنیه (ICC=۰/۷۶) و حدود توافق ۹۵ درصد بیشتر از ۱ دیوپتر تفاوت را نشان داد که از لحاظ بالینی، موافقت این دو دستگاه برای قدرت حداکثر و حداقل سطح قدام قرنیه قابل قبول نبود.

ضخامت مرکزی قرنیه و نازک‌ترین ضخامت قرنیه با دو دستگاه



نمودار ۱: نمودار بلاند-آلتمن توپوگرافی سطح قدام قرنيه

متغيرها نشان می‌دهد؛ ولی برای سایر پارامترها این محدوده وسیع است که بیانگر عدم توافق بین دستگاه‌ها بود.

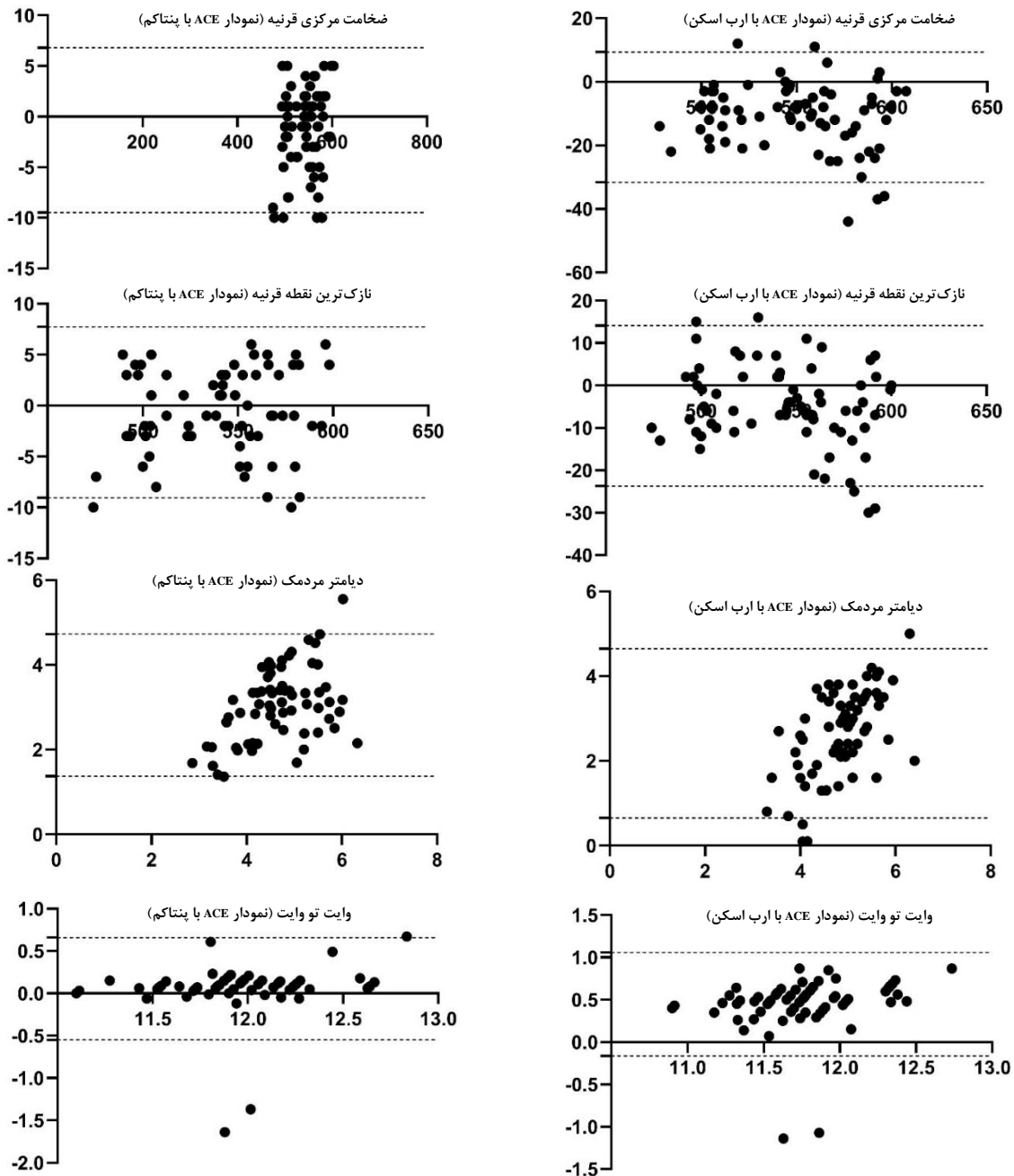
بحث

با توجه به نتایج مطالعه حاضر، ACE با پنتاکم در میانگین قدرت، قدرت‌های حداکثر و حداقل سطح قدام و خلف قرنيه و با ارب اسکن برای میانگین قدرت سطح قدام قرنيه به دلیل ICC بالا و حدود توافق ۹۵ درصد کمتر از ۱ دیوپتر توافق کلینیکی خوبی داشت؛ اما برای سایر پارامترهای توپوگرافی قرنيه ACE توافق خوبی با ارب اسکن در افراد نزدیک‌بین نداشت. در مطالعه Tañá-Rivero و همکاران ۴۹ فرد با سه دستگاه آنتریون و پنتاکم و IOL Master ارزیابی و هر سه وسیله توافق خوبی در پارامترهای کراتومتری قرنيه داشتند.^{۲۰} در مطالعه دیگری که بر روی ۵۵ فرد سالم انجام شد؛ آنتریون با پنتاکم توافق خوبی در توپوگرافی سطح قدام و خلف قرنيه نداشت. اگرچه آنان بیان کردند این دو وسیله توافق خوبی ندارد؛ ولی نتایج آنان ICC بالاتر از ۰/۹۰ و حدود توافق ۹۵ درصد

حدود توافق ۹۵ درصد بین این دستگاه‌ها بیشتر از ۱ میلی‌متر بود. ICCها برای سائز مردمک بین دستگاه‌های ACE و پنتاکم ۰/۱۴ و بین ACE و ارب اسکن ۰/۰۸ به دست آمد که توافق بسیار ضعیفی را نشان داد.

ایبراهی‌های سطح قدام و کل قرنيه نیز توافق خوبی را بین دو دستگاه ACE و پنتاکم به دلیل ضعیف بودن ICC ($ICC < 0.75$) و تفاوت بیشتر از ۰/۲ میکرون بین دو دستگاه برای تمام ایبراهی‌ها نشان نداد (جدول ۲).

نمودار بلاند-آلتمن توپوگرافی و توپوگرافی قرنيه (تفاوت بین دو مقدار به دست آمده برای هر فرد در مقابل میانگین دو مقدار به دست آمده برای هر فرد) بین دستگاه ACE با پنتاکم و ارب اسکن در نمودارهای ۱ و ۲ آمده است. محدوده بین سطوح بالایی و پایینی (حدود توافق ۹۵ درصد) ACE با پنتاکم برای پارامترهای قدرت‌های سطح قدام و خلف قرنيه، ضخامت مرکزی و نازک‌ترین ضخامت قرنيه باریک است که توافق خوب بین این دو دستگاه را برای این



نمودار ۲: نمودار بلاند-آلتمن توبوگرافی توبوگرافی قرنیه

مطالعه انجام شده روی ۵۶ فرد سالم توافق خوبی بین پنتاکم و آنتریون در اندازه‌گیری ضخامت قرنیه وجود داشت.^{۱۸} در مطالعه ما، ACE برای متغیرهای وایت تو وایت و سایز مردمک با دو دستگاه پنتاکم و ارب اسکن توافق آماری و کلینیکی قابل قبولی نداشت. همراستا با مطالعه حاضر، مطالعات گذشته نیز تفاوت آماری با اهمیتی برای وایت تو وایت و سایز مردمک اندازه‌گیری شده با آنتریون و پنتاکم و IOL Master نشان دادند.^{۲۰} یک دلیل احتمالی برای عدم توافق سایز مردمک اندازه‌گیری شده با دستگاه‌های تصویربرداری قرنیه به‌دست آمده در این مطالعه و مطالعات گذشته می‌تواند عدم کنترل شرایط نوری زمان اندازه‌گیری

کمتر از ۱ دیوپتر را برای قدرت‌های سطح قدام و خلف قرنیه را نشان دادند.^۱ لازم به ذکر است با توجه به جدید بودن دستگاه ACE و عدم انتشار مطالعه معتبری در مورد آن و با توجه به این که این دستگاه از لحاظ تکنولوژی شباهت بسیاری به دستگاه آنتریون دارد و هر دو جزو OCT‌های قدامی با تکنیک Swept source هستند و از طول موج یکسان برای تصویربرداری استفاده می‌کنند؛ نتایج مطالعه حاضر با نتایج مطالعات استفاده شده از دستگاه آنتریون، مقایسه گردید. نتایج مطالعه ما نشان داد ACE با پنتاکم برای ضخامت مرکزی قرنیه و نازک‌ترین ضخامت قرنیه به دلیل ICC خوب و تفاوت کمتر از ۲۰ میکرون توافق خوبی داشت. همراستا با مطالعه حاضر در

ملاحظات اخلاقی

مطالعه مورد تایید کمیته اخلاق در پژوهش دانشگاه علوم پزشکی مشهد (IR.MUMS.REC.1402.137) قرار گرفت. بیماران پس از شرح کامل نحوه انجام مطالعه و اخذ رضایت آگاهانه کتبی، وارد مطالعه شدند.

حمایت مالی

این مقاله حاصل پایان‌نامه خانم طاهره رخشان‌دادی برای اخذ درجه دکتری تخصصی در رشته بینایی‌سنجی از دانشکده پیراپزشکی دانشگاه علوم پزشکی مشهد بود. این مطالعه مورد حمایت مالی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی مشهد قرار گرفت.

مشارکت نویسندگان

محمد حسین ولیداد: مدیریت و طراحی پروژه.

حوا شفیعی: نوشتن نسخه اولیه مقاله.

دکتر منیره محجوب: آنالیز داده‌ها و تفسیر نتایج.

دکتر طاهره رخشان‌دادی: انجام پروژه و جمع‌آوری داده‌ها.

دکتر هادی استادی مقدم: مدیریت و طراحی پروژه و تایید نسخه نهایی مقاله.

دکتر عباسعلی یکتا: مدیریت و طراحی پروژه و تایید نسخه نهایی مقاله.

دکتر جواد هروی‌ان شان‌دیز: مدیریت و طراحی پروژه و تایید نسخه نهایی مقاله.

ندا نخجوان پور: تفسیر نتایج.

سارا فارسی: تفسیر نتایج و تایید نسخه نهایی مقاله.

تعارض منافع

بین نویسندگان تعارض منافع وجود ندارد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی مشهد و نیز از واحد اپتومتری و پاراکلینیک بیمارستان چشم پزشکی الزهرا به‌خاطر همکاری در اجرای مطالعه سپاسگزاری می‌گردد.

باشد. تصویربرداری‌های قرنیه اگرچه در شرایط نوری تاریکی نسبی انجام می‌شود؛ اما در دستگاه پنتاکم قرار دادن پارچه سیاه بر روی سر بیمار می‌تواند منجر به دیلاته شدن بیشتر مردمک به دلیل تاریکی بیشتر باشد. از آنجایی که اندازه‌گیری دقیق سایز مردمک به‌ویژه برای جراحی کاتاراکت دارای اهمیت است؛ لذا توصیه می‌شود در ثبت این پارامتر نوع وسیله اندازه‌گیری و شرایط نوری نیز ثبت شود. اندازه‌گیری ایراهی‌های قرنیه به منظور بررسی کیفیت دید افراد به‌ویژه بعد از فیت لنز تماسی و جراحی انکساری از اهمیت زیادی برخوردار است. براساس نتایج این مطالعه، ایراهی‌های سطح قدام و کل قرنیه توافق آماری و کلینیکی خوبی را بین دو دستگاه ACE و پنتاکم به دلیل ضعیف بودن ICC و تفاوت بیشتر از ۰/۲ میکرون بین دو دستگاه نشان نداد. همراستا با نتایج مطالعه ما، Gim و همکاران نیز توافق خوبی بین آنتریون و پنتاکم در ایراهی‌های قرنیه‌ای تریفویل افقی، کومای افقی، ایرای اسفریکال و RMS پنجم و ششم گزارش نکردند.^۱

تفاوت بین دستگاه‌های مورد مطالعه می‌تواند به دلیل اختلاف در تکنولوژی تصویربرداری مانند تکنولوژی شیم فلاگ در پنتاکم، اسکن شکافی در ارب اسکن و SS-OCT در ACE باشد. همچنین تفاوت در الگوریتم‌های پردازش داده، تراکم نقاط نمونه‌برداری و عوامل محیطی نیز می‌تواند در نتایج اندازه‌گیری اثرگذار باشند. از محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به حجم کم نمونه‌ها اشاره نمود. توصیه می‌شود توافق دستگاه‌های تصویربرداری قرنیه در قرنیه‌های غیرنرمال مانند قوز قرنیه و قرنیه‌ها بعد از جراحی انکساری انجام شود.

نتیجه‌گیری

مقادیر توپوگرافی و ضخامت قرنیه اندازه‌گیری شده با ACE توافق خوبی با پنتاکم داشتند؛ لذا قابل جایگزینی با یکدیگرند. سایر متغیرهای اندازه‌گیری شده ACE با پنتاکم و ارب اسکن توافق خوبی نداشتند و قابل جایگزینی با یکدیگر نیستند.

References

- Gim Y, Jun RM, Han KE. Agreement between Scheimpflug Camera and the Swept-source Optical Coherence Tomography Measurements in Keratometry and Higher-order Aberrations. *Korean J Ophthalmol*. 2021 Oct;35(5):337-48. <https://doi.org/10.3341/kjo.2021.0076>.
- Ventura BV, Wang L, Ali SF, Koch DD, Weikert MP. Comparison of corneal power, astigmatism, and wavefront aberration measurements obtained by a point-source color light-emitting diode-based topographer, a Placido-disk topographer, and a combined Placido and dual Scheimpflug device. *J Cataract Refract Surg*. 2015 Aug;41(8):1658-71. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.11.051>.
- Savini G, Versaci F, Vestri G, Ducoi P, Næser K. Influence of posterior corneal astigmatism on total corneal astigmatism in eyes with moderate to high astigmatism. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Oct;40(10):1645-53. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2014.01.046>.
- Goggin M, van Zyl L, Caputo S, Esterman A. Outcome of adjustment for posterior corneal curvature in toric intraocular lens calculation and selection. *J Cataract Refract Surg*. 2016 Oct;42(10):1441-48. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2016.10.004>.
- Arbelaez MC, Versaci F, Vestri G, Barboni P, Savini G. Use of a support vector machine for keratoconus and subclinical keratoconus detection by topographic and tomographic data. *Ophthalmology*. 2012 Nov;119(11):2231-38. <https://doi.org/10.1016/j.optha.2012.06.005>.
- Nassiri N, Sheibani K, Safi S, Nassiri S, Ziaei A, Haji F, et al. Central Corneal Thickness in Highly Myopic Eyes: Inter-device Agreement of Ultrasonic Pachymetry, Pentacam and Orbscan II Before and After Photorefractive Keratectomy. *J Ophthalmic Vis Res*. 2014 Jan;9(1):14-21.
- Konstantopoulos A, Hossain P, Anderson DF. Recent advances in ophthalmic anterior segment imaging: a new era for ophthalmic diagnosis? *Br J Ophthalmol*. 2007 Apr;91(4):551-57.

- <https://doi.org/10.1136/bjo.2006.103408>.
8. Chen W, McAlinden C, Pesudovs K, Wang Q, Lu F, Feng Y, et al. Scheimpflug-Placido topographer and optical low-coherence reflectometry biometer: repeatability and agreement. *J Cataract Refract Surg.* 2012 Sep;38(9):1626-32. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.04.031>.
 9. Gordon-Shaag A, Millodot M, Ifrah R, Shneor E. Aberrations and topography in normal, keratoconus-suspect, and keratoconic eyes. *Optom Vis Sci.* 2012 Apr;89(4):411-18. <https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e318249d727>.
 10. Piñero DP, Nieto JC, Lopez-Miguel A. Characterization of corneal structure in keratoconus. *J Cataract Refract Surg.* 2012 Dec;38(12):2167-83. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2012.10.022>.
 11. Hernández-Camarena JC, Chirinos-Saldaña P, Navas A, Ramírez-Miranda A, de la Mota A, Jimenez-Corona A, et al. Repeatability, reproducibility, and agreement between three different Scheimpflug systems in measuring corneal and anterior segment biometry. *J Refract Surg.* 2014 Sep;30(9):616-21. <https://doi.org/10.3928/1081597x-20140815-02>.
 12. Kumar M, Shetty R, Jayadev C, Rao HL, Dutta D. Repeatability and agreement of five imaging systems for measuring anterior segment parameters in healthy eyes. *Indian J Ophthalmol.* 2017 Apr;65(4):288-94. https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_729_16.
 13. Pan C, Tan W, Savini G, Hua Y, Ye X, Xu W, et al. A Comparative Study of Total Corneal Power Using a Ray Tracing Method Obtained from 3 Different Scheimpflug Camera Devices. *Am J Ophthalmol.* 2020 Aug;216:90-98. <https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.03.037>.
 14. Dobos MJ, Twa MD, Bullimore MA. An evaluation of the Bausch & Lomb Zywave aberrometer. *Clin Exp Optom.* 2009 May;92(3):238-45. <https://doi.org/10.1111/j.1444-0938.2009.00360.x>.
 15. Ruan X, Yang G, Xia Z, Zhang J, Gu X, Tan Y, et al. Agreement of Anterior Segment Parameter Measurements With CASIA 2 and IOLMaster 700. *Front Med (Lausanne).* 2022 Feb;9:777443. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.777443>.
 16. Schiano-Lomoriello D, Hoffer KJ, Abicca I, Savini G. Repeatability of automated measurements by a new anterior segment optical coherence tomographer and biometer and agreement with standard devices. *Sci Rep.* 2021 Jan;11(1):983. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79674-4>.
 17. Tañá-Rivero P, Aguilar-Córcoles S, Rodríguez-Prats JL, Montés-Micó R, Ruiz-Mesa R. Agreement of white-to-white measurements with swept-source OCT, Scheimpflug and color LED devices. *Int Ophthalmol.* 2021 Jan;41(1):57-65. <https://doi.org/10.1007/s10792-020-01552-9>.
 18. Hashemi H, Mehravaran S. Corneal changes after laser refractive surgery for myopia: comparison of Orbscan II and Pentacam findings. *J Cataract Refract Surg.* 2007 May;33(5):841-47. <https://doi.org/10.1016/j.jcrs.2007.01.019>.
 19. Lou W, Du W, Jin H, Hu Y. Comparison of anterior corneal aberrations measured by Scheimpflug and Placido Disc System for myopes. *BMC Ophthalmol.* 2022 Dec 28;22(1):512. <https://doi.org/10.1186/s12886-022-02753-9>.
 20. Tañá-Rivero P, Aguilar-Córcoles S, Tello-Elordi C, Pastor-Pascual F, Montés-Micó R. Agreement between 2 swept-source OCT biometers and a Scheimpflug partial coherence interferometer. *J Cataract Refract Surg.* 2021 Apr;47(4):488-95. <https://doi.org/10.1097/j.jcrs.0000000000000483>.
 21. Pérez-Bartolomé F, Rocha-De-Lossada C, Sánchez-González JM, Feu-Basilio S, Torras-Sanvicens J, Peraza-Nieves J. Anterior-Segment Swept-Source Ocular Coherence Tomography and Scheimpflug Imaging Agreement for Keratometry and Pupil Measurements in Healthy Eyes. *J Clin Med.* 2021 Dec;10(24):5789. <https://doi.org/10.3390/jcm10245789>.