Comparison of Intraocular Pressure Using Goldmann's Applanation Tonometer as the Current Standard of Clinics with Five Different Tonometers in Healthy People

Momeni-Moghaddam H[1,2]; Heidari H.R[3], Yekta A.A[3,4], Ostadi-Moghaddam H[3,4], Sedaghat M.R[5], Maddah N[3], Ghaeni-Hesarouiyeh S[2]

Abstract

Purpose: To compare the intraocular pressure (IOP) measured with the Goldmann tonometer as the current standard of clinics with five different tonometers in healthy people, and to investigate the effect of corneal thickness and biomechanical properties on measurements.

Methods: In this cross-sectional study, IOP was measured in 94 eyes of 94 healthy subjects with the Goldmann, manual applanation resonance, Icare, Topcon non-contact, Ocular Response Analyzer and Corvis's tonometers. Comparison of the IOPs measured with different techniques was done using the repeated measures analysis of variance while the central corneal thickness as a covariate. The Bland-Altman plots and intraclass correlation coefficients were used to assess the agreement between the measurements. Limits of agreement were determined as the mean difference ±1.96 SD. Regression analysis was used to estimate the effect of central corneal thickness, corneal hysteresis, and corneal resistance factor on IOPs obtained using different tonometers.

Results: The lowest mean IOP was obtained with the Goldmann tonometer (13.1 ± 2.6 mmHg) and the highest with the Topcon non-contact tonometer (17.3 ± 2.5 mm Hg). There was a statistically significant difference between the pressure measured by Goldmann's tonometer and other tonometers. The mean IOP measured using Icare (14.6 ± 3.4 mmHg) demonstrated the smallest mean difference and the highest agreement with the Goldmannn tonometer results. Central corneal thickness significantly affected all IOPs except the cornea-compensated IOP (IOPcc). The highest influence of IOP on the corneal resistance factor was related to Topcon non-contact tonometer and Goldmann correlated IOP (IOPg), while the lowest was seen with IOPcc and Goldmann.

Conclusions: The Icare tonometer had the highest agreement among the different tonometers with the Goldmann tonometer. The central thickness of the cornea affects the results of all tonometers except IOPcc. Among the two evaluated corneal biomechanical parameters, the corneal resistance factor was the only biomechanical parameter effective on IOPs measured with all devices.

Keywords: Tonometry, Intraocular pressure, Corneal thickness, Corneal hysteresis, Corneal resistance factor

Received: 2022.09.26 Accepted: 2022.11.07

مقایسه فشار داخل چشم اندازه گیری شده با تونومتر گلدمن به عنوان استاندارد فعلی کلینیک ها با پنج تونومتر مختلف در افراد سالم

حامد مؤمنی مقدم[۱،۲]، حمیدرضا حیدری[۳]، عباسعلی یکتا[۳،۴]، هادی استادی مقدم[۳،۴]، محمدرضا صداقت[۵]، نسیم مداح[۳]، صدف قائنی حصاروئیه[۲]

هدف: مقایسه ی فشار داخل چشم (Intraocular Pressure; IOP) اندازه گیری شده با تونومتر گلدمن به عنوان استاندارد فعلی کلینیک ها با پنج تونومتر مختلف در افراد سالم، و بررسی تاثیر ضخامت و خصوصیات بیومکانیک قرنیه بر اندازه گیری ها.

روش بررسی: در این مطالعه مقطعی، IOP در ۹۴ چشم از ۹۴ فرد سالم با تونومترهای گلدمن، تماسی رزونانسی دستی، Icare، غیرتماسی تاپکن، آنالیز کننده پاسخ چشمی و کورویس اندازه گیری شد. مقایسه ی IOP اندازه گیری شده با دستگاه های مختلف با آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیری های تکراری انجام در حالی که ضخامت مرکزی قرنیه به عنوان

فاکتور کوواریانس در نظر گرفته شد. نمودار بلاند-آلتمن و ضرایب همبستگی درون طبقاتی جهت بررسی میزان توافق بین اندازه گیری- ها استفاده گردید. محدوده ی میزان توافق بر اساس میانگین تفاوت ± ۱/۹۶ انحراف معیار تفاوت تعیین شد. آنالیز رگرسیون برای تخمین تاثیر ضخامت مرکزی قرنیه، هیسترزیس و فاکتور مقاومت قرنیه بر IOP اندازه‌گیری شده با تونومتر های مختلف استفاده شد.

یافته ها: کمترین میانگین IOP با تونومتر گلدمن (۲/۶ ± ۱۳/۱ میلی متر جیوه) و بیشترین آن ها با تونومتر غیرتماسی تاپکن (۲/۵ ± ۱۷/۳ میلی متر جیوه) بدست آمد. اختلاف قابل توجهی از لحاظ آماری بین فشار اندازه گیری شده با تونومتر گلدمن و سایر تونومتر ها وجود داشت. میانگین IOP اندازه گیری شده با Icare (۳/۴ ± ۱۴/۶ میلی متر جیوه) کمترین تفاوت و بیشترین توافق را با نتایج تونومتر گلدمن نشان داد. ضخامت مرکزی قرنیه به طور معنی داری تمامی IOPs را بجز فشار اصلاح شده بر اساس خصوصیات قرنیه (Cornea-Compensated IOP; IOPcc) تحت تاثیر قرار داد. بیشترین تاثیر پذیری IOP از فاکتور مقاومت قرنیه، مربوط به تونومتر غیر تماسی تاپکن و فشارهای هماهنگ با تونومتر گلدمن (Goldmann Correlated IOP; IOPg) بوده در حالی که کمترین آن ها با IOPcc و گلدمن دیده شد.

نتیجه گیری: تونومتر Icare بیشترین توافق را در بین تونومترهای مختلف با تونومتر گلدمن داشت. ضخامت مرکزی قرنیه بر نتایج تمامی تونومترها به جز IOPcc تاثیر گذارست. از بین دو پارامتر بیومکانیکی ارزیابی شده قرنیه، فاکتور مقاومت قرنیه تنها پارامتر بیومکانیکی موثر بر IOP های اندازه گیری شده با تمامی دستگاه ها بود.

کلمات کلیدی: تونومتری، فشار داخل چشم، ضخامت قرنیه، هیسترزیس قرنیه، فاکتور مقاومت قرنیه

نویسنده مسئول: دکتر حامد مومنی مقدم، hmomeni_opt@yahoo.com، ORCID: 0000-0003-3933-748X
آدرس: زاهدان، خیابان آیت ا... کفعمی، مرکز جامع توابخشی رزمجو مقدم، کلینیک بینایی سنجی
۱- مرکز تحقیقات علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
۲- گروه اپتومتری، دانشکده علوم توانبخشی، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
۳- گروه اپتومتری، دانشکده علوم پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
۴- مرکز تحقیقات عیوب انکساری چشم، دانشکده علوم پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران
۵- مرکز تحقیقات چشم، دانشگاه علوم پزشکی مشهد، مشهد، ایران

مقدمه

اندازه گیری فشار داخل چشم (Intraocular Pressure; IOP) به عنوان یک پارامتر مهم در خصوص غربالگری، تشخیص و معاینات پیگیری بیماران گلوکومی بشمار و IOP به عنوان فاکتور خطر اصلی گلوکوم ملاحظه می شود (۱). تا به امروز تونومترهای مختلفی جهت اندازه گیری IOP معرفی شده اند (۲). یکی از تکنیک های اندازه گیری IOP، استفاده از روش مسطح کردن یا اپلنیشن (Applanation) است که این روش در تونومتر تماسی گلدمن بکار برده شده است (۳). از جمله دستگاه-های دیگر می توان به تونومتر غیر تماسی تاپکن، دستگاه آنالیز کننده پاسخ چشمی (Ocular Response Analyzer; ORA) (۴)، کورویس (۵) و همچنین تونومتر اپلنیشن رزونانسی (Applanation Resonance Tonometer; ART) (۶) که جز تونومترهای غیر تماسی به شمار می آیند، اشاره کرد. تونومتر Icare وسیله ی قابل حمل برای اندازه گیری فشار در موقعیت های مختلف از نشسته تا خوابیده هست که در آن از یک پروب برای تماس لحظه ای با قرنیه استفاده می شود و IOP با ملاحظه زمان تماس با قرنیه و تاخیر در سرعت برگشت پروب تعیین می شود (۹-۷).

از زمان معرفی تونومتر گلدمن، این دستگاه به عنوان روش استاندارد اندازه گیری IOP ملاحظه و بیان شده که بهترین عملکرد این دستگاه در قرنیه های با ضخامت مرکزی ۵۲۰ میکرون میباشد (۱۱، ۱۰). در حالی که گزارش شده اندازه گیری IOP علاوه بر تاثیر پذیری از ضخامت مرکزی قرنیه، تحت تاثیر خصوصیات هندسی قرنیه نظیر انحنا، و به ویژه خصوصیات بیومکانیکی و سفتی قرنیه قرار می گیرد (۱۱، ۱۰، ۲). علاوه بر این تغییرات فردی در خصوصیات ساختاری و بیومکانیکی قرنیه تأثیرات

متفاوتی بر IOP اندازه‌گیری شده بر اساس اصول طراحی تونومتر دارد (۱۲). اگرچه تونومترهایی مانند گلدمن و سایر تونومترهای غیر تماسی اندازه گیری راحت و نسبتا دقیقی را ارائه می دهند، با این وجود مقایسه ی نتایج تونومترهای مختلف با ملاحظه خصوصیات مختلف قرنیه که اثرات متفاوتی بر اندازه گیری ها می تواند داشته باشد، ضروری به نظر می رسد (۱۳). بنابراین این مطالعه با هدف مقایسه اندازه گیری IOP با تونومترهای مختلف و بررسی توافق فشارهای بدست آمده با دستگاه های مختلف با تونومتر گلدمن طراحی شد. علاوه بر این، تأثیر ضخامت قرنیه و پارامترهای بیومکانیک بدست آمده از دستگاه آنالیز کننده پاسخ چشمی بر اندازه‌گیری فشار بدست آمده با دستگاه های مختلف نیز ارزیابی شد.

روش بررسی

در این مطالعه ی مقطعی، ۹۴ چشم از ۹۴ فرد سالمی که جهت انجام جراحی انکساری قرنیه به کلینیک چشم دیدار مشهد مراجعه کرده و معیارهای ورورد به مطالعه را داشتند، مورد ارزیابی قرار گرفتند. قبل از انجام پروژه، هدف از این مطالعه به زبان ساده برای شرکت کنندگان توضیح داده شد و از تمامی آن ها رضایت نامه آگاهانه جهت مشارکت اختیاری در این پروژه اخذ شد. تمامی مراحل انجام این مطالعه از اصول بیانیه هلسینکی تبعیت و علاوه بر این، پروتکل این مطالعه توسط کمیته اخلاق دانشگاه علوم پزشکی مشهد تایید گردیده است.

معیارهای ورود به مطالعه شامل عیب انکسار معادل کروی برابر یا کمتر از ۴ دیوپتر، آستیگمات قرنیه ای کمتر از ۳ دیوپتر، عدم وجود تاریخچه ی بیماری های زمینه ای و چشمی موثر بر IOP بودند. افراد با سابقه گلوکوم، دیستروفی قرنیه، کراتوکونوس قطعی یا مشکوک، سابقه جراحی های چشمی قبلی مثل جراحی انکساری قرنیه ای، جراحی کاتاراکت و جراحی گلوکوم، وجود بیماری های سیستمیک مانند دیابت، فشارخون، بیماری های مرتبط با بافت همبندی، خشکی چشم و سابقه ی استفاده از لنز تماسی از مطالعه خارج شدند.

IOP با دستگاه های تونومتر تماسی و غیر تماسی با تکنیک های مربوط به هر یک از دستگاه ها اندازه گیری شد. تونومترهای تماسی شامل تونومتر گلدمن (Goldmann Applanation Tonometer; GAT، Haag-Streit AG, Bern, Switzerland)، دستگاه Icare (Icare® TA01i, I-Care Finland, Oy, Finland)، و تونومتر دستی اپلاناسیون رزونانسی (BioResonator ART manual)، و تونومترهای غیر تماسی شامل دستگاه تونومتر ایرپاف غیرتماسی تاپکن (NCT, Topcon Corporation, Tokyo, Japan)، آنالیزکننده پاسخ چشمی (ORA, Reichert Ophthalmic Instruments, Buffalo, New York, USA) و کورویس (Oculus, Wetzlar, Germany) بودند. در مطالعات قبلی تکرارپذیری قابل قبول این دستگاه ها در اندازه گیری فشار داخل چشم گزارش شده است (۷، ۱۸-۱۴).

دستگاه ORA دو فشار را ارائه که شامل فشار هماهنگ با تونومتر گلدمن (Goldmann Correlated IOP; IOPg) که میانگین فشار اندازه گیری شده در نخستین و دومین حالت فلت شدن قرنیه بوده و دیگری فشار اصلاح شده بر اساس خصوصیات قرنیه (Cornea-Compensated IOP; IOPcc) می باشند تا میزان تاثیرپذیری فشار را بویژه از ضخامت قرنیه به حداقل برساند (۱۹). از سایر پارامترهای محاسبه شده با این دستگاه می توان به هیسترزیس قرنیه (Corneal Hysteresis; CH) که نشانگر ویژگی های ویسکوالاستیک قرنیه بوده و همچنین پارامتری دیگر که فاکتور مقاومت قرنیه (Corneal Resistance Factor; CRF) بوده و بیانگر میزان سفتی کلی قرنیه است (۱۹).

در تمامی اندازه گیری ها فرد در وضعیت نشسته قرار داشت و بین اندازه گیری ها به منظور اطمینان از بهبود جریان مایع زلالیه ۵ دقیقه به فرد استراحت داده می شد (۲۰). اندازه گیری IOP با تونومتر گلدمن سه بار، با دستگاه Icare شش مرتبه، و سه الی شش مرتبه با تونومتر دستی اپلاناسیون رزونانسی با توجه به ضریب کیفیت ۱ توسط یک چشم پزشک با تجربه انجام شد. همچنین اندازه گیری های انجام شده با دستگاه های آنالیزور پاسخ چشمی، کورویس و تونومتر غیر تماسی تاپکن توسط یک اپراتور با تجربه انجام شد. اندازه گیری با دستگاه هایی که نیاز به بی حسی موضعی نداشتند به صورت تصادفی انجام شد. با توجه به نیاز به بی حسی موضعی بدست آمده با قطره ی تتراکائین ۰.۱٪ جهت اندازه گیری فشار با تونومترهای تماسی، اندازه گیری با تونومتر گلدمن و

تونومتر دستی اپلنیشن رزونانسی در آخر انجام شد. تمامی معاینات در ساعات ۱۵ الی ۱۸ جهت کاهش اثر تغییرات روزانه IOP انجام شد (۲۱).

داده ها در نرم افزار SPSS نسخه۲۲ تجزیه و تحلیل شدند. بررسی وضعیت توزیع داده های کمی با استفاده از آزمون کولموگروف-اسمیرنف، نشان دهنده توزیع نرمال آن ها بود. مقایسه ی میانگین IOP بدست آمده با دستگاه های مختلف و با تونومترگلدمن به عنوان استاندارد فعلی کلینیک ها استفاده از آزمون آنالیز واریانس با اندازه گیریهای تکراری انجام، در حالی که ضخامت مرکزی قرنیه به عنوان فاکتور کوواریانس در نظر گرفته شد. مقایسه های دو تایی با اصلاح بونفرونی انجام شد. بررسی همبستگی و توافق فشارهای بدست آمده با تونومترهای مختلف با تونومترگلدمن، با آزمون همبستگی پیرسون، نمودار بلاند-آلتمن (۲۲) و ضرایب همبستگی درون طبقه‌ای (Intraclass Correlation Coefficients; ICC) انجام شد. محدوده ی میزان توافق بر اساس میانگین تفاوت ± ۱/۹۶ انحراف معیار تفاوت تعیین شد. ضرایب ICC ۰- ۰/۲، ۰/۰-۴/۳، ۰/۰-۶/۵، ۰/۰-۸/۷ و بیش از ۰/۸ به ترتیب نشان- دهنده توافق ضعیف، منصفانه، متوسط، قوی و تقریبا کامل است (۲۳). در نمودارهای بلاند-آلتمن، تفاوت IOP بین هر تونومتر با تونومتر گلدمن روی محور عمودی به عنوان تابعی از میانگین IOP بدست آمده با هر یک از تونومترها و تونومتر گلدمن که روی محور افقی نشان داده می شود، ترسیم گردید. برای تخمین تأثیر ضخامت مرکزی قرنیه، هیسترزیس قرنیه و فاکتور مقاومت قرنیه بر IOP اندازه‌گیری شده با استفاده از هر دستگاه از آزمون رگرسیون خطی استفاده شد. در تمامی آزمون ها سطح معنی داری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد.

یافته ها

در این پژوهش ۹۴ چشم از ۹۴ فردی که تمامی آن ها نژاد ایرانی بودند، بررسی شدند. میانگین سن در افراد شرکت کننده ۶/۰±۳۰/۶ سال با محدوده سنی ۲۰ تا ۴۶ سال بود. از ۹۴ چشم بررسی شده ۲۶ چشم (۲۷/۷ درصد) مربوط به مردان و ۶۸ چشم (۷۲/۳ درصد) مربوط به زنان بودند.

میانگین و انحراف معیار وضعیت انکساری و ویژگی های قرنیه در افراد تحت مطالعه در جدول ۱ آمده است. میانگین و انحراف معیار IOP بدست آمده با دستگاه های مختلف و مقایسه های زوجی با ملاحظه ضخامت مرکزی قرنیه به عنوان کوواریانس در جدول ۲ آورده شده است.

بالاترین میانگین IOP با تونومتر غیرتماسی تاپکن (۲/۵ ± ۱۷/۳میلیمتر جیوه) و کمترین آن با تونومتر گلدمن (۲/۶ ± ۱۳/۱میلی‌متر جیوه) به دست آمد. تونومتر کورویس و تونومتر تماسی رزونانسی به ترتیب کمترین و بالاترین انحراف معیار را برای IOP اندازه گیری شده نشان دادند. تفاوت قابل توجهی از لحاظ آماری در میانگین IOP به دست آمده با تونومترهای مختلف دیده شد، ($p < ۰/۰۰۱$ – مقدار، ۵۰/۱۷۶ =(۳۴۱/۸۵، ۳/۶۷)F) و نتایج همراه با مقایسه‌های دو تایی با اصلاح بونفرونی و نتایج در جدول ۱ آمده است.

میانگین تفاوت و همبستگی IOP بدست آمده با تونومترهای مختلف در مقایسه با تونومتر گلدمن به عنوان استاندارد فعلی کلینیک ها در جدول ۳ آورده شده است. کمترین اختلاف میانگین (۱/۵ میلی‌متر جیوه) و بیشترین توافق (۴±/۹ میلیمتر جیوه) با تونومتر گلدمن مربوط به فشار اندازه گیری شده با تونومتر Icare بود. بر اساس ICC بدست آمده، کمترین تطابق با نتایج گلدمن مربوط به تونومتر غیر تماسی تاپکن و قوی ترین آنها مربوط به تونومتر Icare بود.

نمودارهای بلاند-آلتمن ترسیم شده نشان می دهد که باریک ترین محدوده توافق با تونومتر گلدمن همراه با بیشترین درصد اختلاف میانگین صفر (۱۱/۷درصد) مربوط به تونومتر Icare است (نمودار ۱). البته همان طور که در نمودارها مشهود است بیشترین توافق مربوط به مقادیر متوسط فشار داخل چشم بوده و با افزایش و کاهش فشار میزان توافق کاهش می یابد.

همبستگی IOP اندازه گیری شده با تونومترهای مختلف با ضخامت مرکزی بدست آمده با دستگاه پنتاکم و پارامترهای بیومکانیک قرنیه بدست آمده از دستگاه آنالیز کننده پاسخ چشمی (هیسترزیس و فاکتور مقاومت قرنیه) در جدول ۴ آمده است. بررسی ارتباط بین ضخامت مرکزی قرنیه، هیسترزیس قرنیه و فاکتور مقاومت قرنیه با IOP اندازه گیری شده، نشاندهنده وجود یک ارتباط معنی دار از لحاظ آماری برای ضخامت مرکزی قرنیه با همه تونومترها به جز IOPcc و برای فاکتور مقاومت قرنیه با همه تونومترها بوده است. درحالی که هیسترزیس قرنیه تنها ارتباط معنی داری با IOP اندازه گیری شده با تونومتر غیر

جدول ۱: اطلاعات اولیه افراد تحت مطالعه.

متغیر	(دامنه) انحراف معیار ± میانگین
اسفر (دیوپتر)	-۲/۴ ± ۱/۲ (-۴ تا ۱/۵)
سیلندر (دیوپتر)	-۰/۸ ± ۰/۷ (-۲/۷ تا ۰)
معادل کروی (دیوپتر)	-۲/۸ ± ۱/۲ (-۴ تا ۱/۴)
متوسط کراتومتری (دیوپتر)	۴۳/۸ ± ۱/۵ (۳۹/۳ تا ۴۶/۳)
ضخامت مرکزی قرنیه (میکرون)	۵۳۶/۳ ± ۲۴/۴ (۴۸۳ تا ۵۹۴)
هیسترزیس قرنیه (میلی متر جیوه)	۱۰/۹ ± ۱/۲ (۸/۵ تا ۱۳/۵)
فاکتور مقاومت قرنیه (میلی متر جیوه)	۱۰/۶ ± ۱/۲ (۸ تا ۱۴/۵)

جدول ۲: فشار داخل چشم اندازه گیری شده (میلی متر جیوه) با تونومترهای مختلف با ملاحظه ضخامت مرکزی قرنیه به عنوان کواریانس

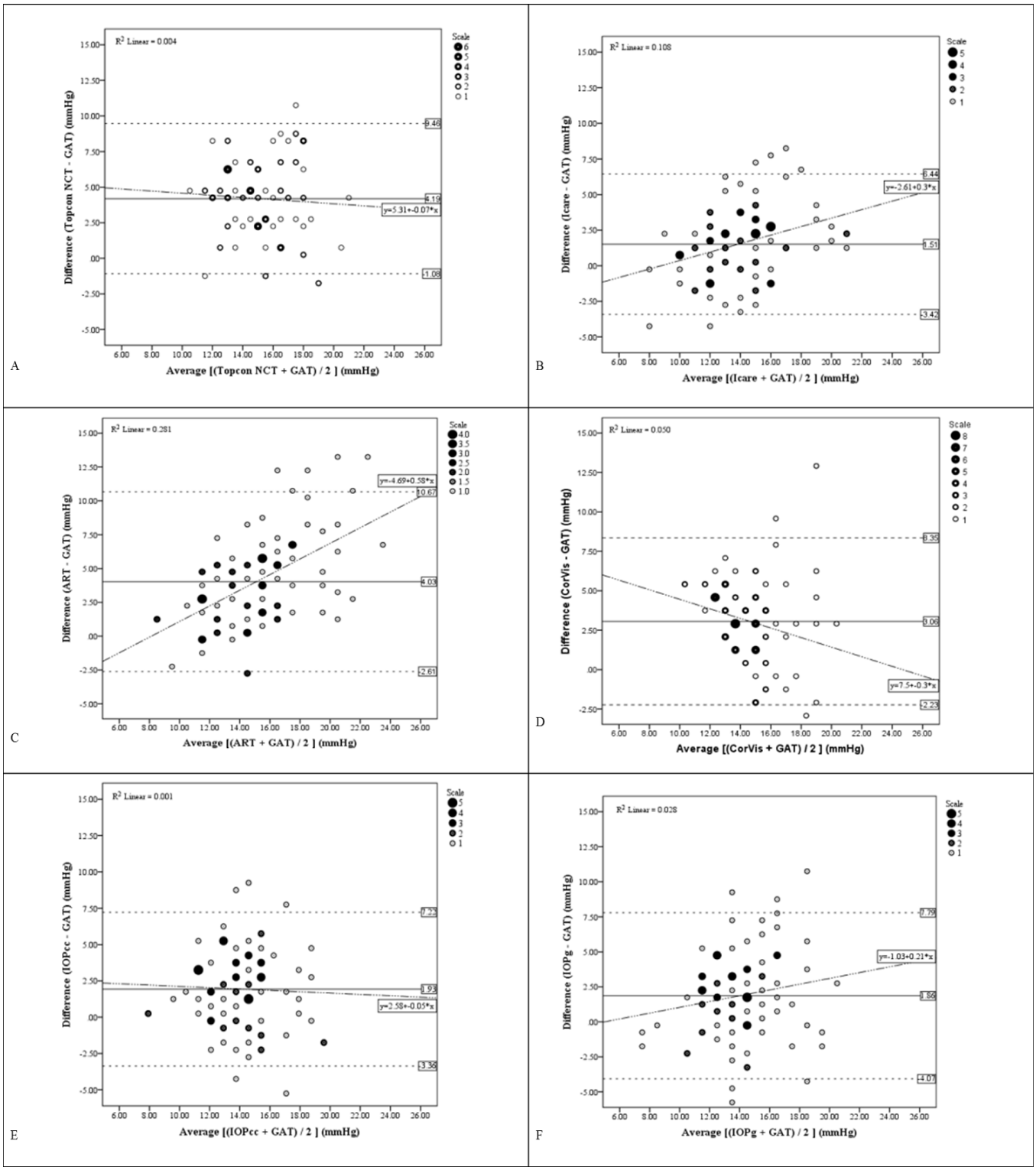
تونومتر	(حدود اطمینان ۹۵ درصد) انحراف معیار ± میانگین	مقایسه زوجی، p - مقدار
(a) Topcon NCT	۱۷/۳ ± ۲/۵ (۱۶/۸, ۱۷/۸)	a, d: > ۰/۹۹
(b) Icare	۱۴/۶ ± ۳/۴ (۱۳/۸۹, ۱۵/۲۹)	b, f: > ۰/۹۹
(c) GAT	۱۳/۱ ± ۲/۶ (۱۲/۵, ۱۳/۶)	b, g: > ۰/۹۹
(d) ART	۱۷/۱ ± ۴/۳ (۱۶/۲, ۱۸/۰)	d, e: ۰/۵۰
(e) Corvis	۱۶/۱ ± ۲/۱ (۱۵/۷, ۱۶/۶)	f, g: > ۰/۹۹
(f) ORA-IOPcc	۱۵/۰ ± ۲/۵ (۱۴/۵, ۱۵/۵)	سایر زوج ها: < ۰/۰۰۱
(g) ORA-IOPg	۱۴/۹ ± ۳/۱ (۱۴/۳, ۱۵/۶)	

IOP: Intraocular pressure, NCT: Non-contact tonometer, GAT: Goldmann applanation tonometer, ART: Applanation resonance tonometer, ORA: Ocular Response Analyzer, IOPg: Goldmann correlated IOP, IOPcc: Cornea-compensated IOP

جدول ۳: نتایج فشار اندازه گیری با تونومترهای مختلف در مقایسه با تونومتر تماسی گلدمن

تونومتر	انحراف معیار ± اختلاف میانگین (حدود اطمینان ۹۵ درصد)	محدوده توافق ۹۵ درصد (۱/۹۶ × SD of differences)	ضریب ICC (p - مقدار)	ضریب همبستگی (p -مقدار)
Topcon NCT-GAT	۴/۲ ± ۲/۷ (۳/۶, ۴/۷)	-۱/۱, ۹/۵ (±۵/۳)	۰/۳ (<۰/۰۰۱)	۰/۴ (<۰/۰۰۱)
- GAT Icare	۱/۵ ± ۲/۵ (۱/۰, ۲/۰)	-۳/۴, ۶/۴ (±۴/۹)	۰/۷ (<۰/۰۰۱)	۰/۷ (<۰/۰۰۱)
ART-GAT	۴/۰ ± ۳/۴ (۳/۳, ۴/۷)	-۲/۶, ۱۰/۷ (±۶/۶)	۰/۵ (<۰/۰۰۱)	۰/۶ (<۰/۰۰۱)
-GAT Corvis	۳/۱ ± ۲/۷ (۲/۵, ۳/۶)	-۲/۲, ۸/۳ (±۵/۳)	۰/۳ (<۰/۰۰۱)	۰/۴ (<۰/۰۰۱)
-GAT ORA-IOPcc	۱/۹ ± ۲/۷ (۱/۴, ۲/۵)	-۳/۴, ۷/۲ (±۵/۳)	۰/۵ (<۰/۰۰۱)	۰/۵ (<۰/۰۰۱)
-GAT ORA-IOPg	۱/۹ ± ۳/۰ (۱/۲, ۲/۵)	-۴/۱, ۷/۸ (±۵/۹)	۰/۵ (<۰/۰۰۱)	۰/۴ (<۰/۰۰۱)

SD: Standard deviation, IOP: Intraocular pressure, NCT: non-contact tonometer, GAT: Goldmann applanation tonometer, ART: Applanation resonance tonometer, ORA: Ocular Response Analyzer, IOPg: Goldmann correlated IOP, IOPcc: Cornea-compensated IOP, ICC: Intra-Class correlation coefficient



نمودار ۱: میزان توافق فشار داخل چشم (IOP) اندازه گیری شده با تونومترهای مختلف با تونومتر تماسی گلدمن بر اساس نمودارهای بلاند و آلتمن، (A) Topcon NCT، (B) Icare (B)، (C) ART، (D) Corvis، (E) ORA-IOPcc، (F) ORA-IOPg.
تفاوت میانگین با خط افقی توپر در حالی که حدود اطمینان ۹۵ درصد و خط رگرسیونی به ترتیب با خطوط افقی و مایل خط چین نشان داده می شوند. (IOP: Intraocular pressure, NCT: Non-contact tonometer, GAT: Goldmann applanation tonometer, ART: Applanation resonance tonometer, ORA: Ocular Response Analyzer, IOPg: Goldmann correlated IOP, IOPcc: Cornea-compensated IOP)، محور افقی: میانگین فشار اندازه گیری شده با دو دستگاه، محور عمودی: تفاوت فشار اندازه گیری شده با دو دستگاه.

جدول ۴: تاثیر ضخامت مرکزی قرنیه و پارامترهای بیومکانیک هیسترزیس و فاکتور مقاومت قرنیه بر فشار اندازه گیری شده با تونومترهای مختلف

	ضخامت مرکزی قرنیه (میکرون)		فاکتور مقاومت قرنیه (میلی متر جیوه)		هیسترزیس قرنیه (میلی متر جیوه)	
	r	B	r	B	r	B
تونومتر	p – مقدار	p – مقدار	p – مقدار	p – مقدار	p –مقدار	p – مقدار
Topcon NCT	۰/۵۲۳	۰/۰۵۴	۰/۷۲۰	۱/۱۲۵	۰/۴۶۰	۰/۹۳۲
	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱
Icare	۰/۳۰۷	۰/۰۴۳	۰/۴۶۸	۰/۹۹۲	۰/۱۹۰	۰/۵۲۳
	۰/۰۱	۰/۰۰۳	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	۰/۰۶	۰/۰۶۶
GAT	۰/۲۱۰	۰/۰۲۲	۰/۳۶۳	۰/۵۷۹	۰/۱۹۹	-۰/۴۱۱
	۰/۰۴	۰/۰۴۲	۰/۰۲	< ۰/۰۰۱	۰/۰۵۶	۰/۰۵۵
ART	۰/۲۴۲	۰/۰۴۲	۰/۳۰۰	۰/۷۹۸	۰/۰۰۹	۰/۰۳۲
	۰/۰۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۹۳	۰/۹۳۰
Corvis	۰/۵۰۸	۰/۰۴۵	۰/۶۷۰	۰/۸۹۴	۰/۳۲۵	۰/۵۶۳
	<۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	۰/۰۰۱	۰/۰۰۱
ORA-IOPcc	۰/۱۴۶	۰/۰۱۶	۰/۲۵۷	۰/۴۲۳	۰/۰۰۸	-۰/۰۱۷
	۰/۱۶	۰/۱۶۱	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۰/۹۳	۰/۹۳۸
ORA-IOPg	۰/۴۸۱	۰/۰۶۱	۰/۷۷۴	۱/۴۸۱	۰/۳۱۰	۰/۷۶۹
	<۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	< ۰/۰۰۱	۰/۰۱	۰/۰۰۲

IOP: Intraocular pressure, NCT: non-contact tonometer, GAT: Goldmann applanation tonometer, ART: Applanation resonance tonometer, ORA: Ocular Response Analyzer, IOPg: Goldmann correlated IOP, IOPcc: Cornea-compensated IOP, r: Pearson Correlation, B: Unstandardized Coefficients.

تماسی تاپکن، فشار جبران نشده کورویس و فشار هماهنگ با گلدمن ORA (IOPg) نشان داد. رگرسیون خطی ساده انجام شده نشان داد به ازای هر میکرون افزایش در ضخامت مرکزی قرنیه، مقادیر IOPg بدست آمده با ORA و IOP تونومتر غیرتماسی تاپکن به ترتیب برابر با ۰/۰۶۱ و ۰/۰۵۴ میلی متر جیوه افزایش می یابد. این درحالیست که میزان افزایش در IOP بدست آمده از تونومتر گلدمن و IOPcc دستگاه ORA به ترتیب برابر با ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۶ میلی متر جیوه است. بیشترین تاثیر پذیری IOP اندازه گیری شده از فاکتور مقاومت قرنیه، مربوط به فشار حاصل از تونومتر غیر تماسی تاپکن و IOPg بود در حالیکه کمترین آن ها با IOPcc و فشار اندازه گیری شده با تونومتر گلدمن دیده شد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که بالاترین میزان فشار داخل چشم اندازه گیری شده با تونومتر غیر تماسی تاپکن بوده و بعد از آن به ترتیب کاهشی مربوط به تونومترهای تماسی رزونانسی دستی، فشار غیر اصلاح شده بر اساس خصوصیات قرنیه کورویس، IOPcc، IOPg، Icare و تونومتر گلدمن بود. بیشترین توافق در اندازه-گیری فشار داخل چشمی بین تونومتر گلدمن با تونومتر Icare با محدوده توافق ۹۵ درصد ۴/۹± میلی متر جیوه مشاهده شد، که این یافته هماهنگ با نتایج گزارش شده با مطالعه ی Suman و همکاران (۱) است که بیان داشتند IOP بدست آمده با Icare حدود ۲ تا ۳ میلی متر جیوه بالاتر از تونومتر گلدمن است. این در حالی است که مطالعه ی حاضر تفاوت میانگین ۱/۵ میلی متر جیوه ای را بین این دو تونومتر نشان داد و از طرفی برخلاف پژوهش حاضر، مطالعه آن ها شامل بیماران مبتلا به گلوکوم بود. بیشترین افزایش فشار داخل چشمی به ازای هر واحد افزایش ضخامت مرکزی قرنیه و فاکتور مقاومت قرنیه مربوط به فشار حاصل از تونومتر غیرتماسی تاپکن و IOPg بوده و کمترین افزایش آن مربوط به IOPcc و فشار با

تونومتر گلدمن بود. از دو پارامتر بیومکانیک قرنیه ارزیابی شده، فاکتور مقاومت قرنیه تنها پارامترهای بیومکانیکی بود که بر تمامی فشار های اندازه گیری شده موثر بود.

در مطالعه ای گزارش شد که اندازه گیری IOP با تونومترهای ریباند وابسته به خواص بیومکانیک قرنیه بوده ولی مستقل از ضخامت آن می باشد، به طوری که فشار اندازه گیری شده در ناحیه مرکزی و اطراف قرنیه (در فاصله ۳ میلی متری از لیمبوس) مشابه بوده و به طور قابل توجهی بیشتر از نتایج تونومتر گلدمن (۱/۹ میلی متر جیوه) بوده است (۷). اگرچه مطالعه حاضر، فشار اندازه گیری شده بالاتر با Icare را تایید می کند (به طور میانگین ۱/۵ میلی متر جیوه)، با این حال، نتایج بدست آمده تابعی از فاکتور مقاومت قرنیه به عنوان یک ویژگی بیومکانیک و ضخامت مرکزی قرنیه بوده است. Chui و همکاران (۷)، در بررسی توافق نتایج تونومترهای Icare و گلدمن، یک محدود توافق ۹۵ درصدی ۳/۴- تا ۷/۳ میلی متر جیوه را گزارش، در حالیکه این محدوده در مطالعه ی حاضر بین ۳/۴- تا ۶/۴ میلی متر جیوه بدست آمد. محدوده تخمین بیش تر از حد فشار با تونومتر Icare در مقایسه با گلدمن ۰/۵ تا ۱/۸ میلی متر جیوه در مطالعات قبلی ذکر شده بود که با یافته های مطالعه ی حاضر مطابقت کلی دارد (۲۴، ۸).

بیشترین تفاوت میانگین بین فشار اندازه گیری شده با تونومترهای مختلف با گلدمن در مطالعه حاضر مربوط به تونومتر غیر تماسی تاپکن بوده که با یافته های مطالعه ی Ogbuehi و همکاران (۱۶) همخوانی دارد. همچنین کمترین توافق در اندازه گیری ها با تونومتر گلدمن مربوط به تونومتر تماسی رزونانسی (۶/۶ ± میلی‌متر جیوه) بود. Jóhannesson و همکاران (۲۵) دقت متوسطی (۴/۵ ± میلی متر جیوه) را در اندازه گیری فشار با تونومتر تماسی رزونانسی در مقایسه با گلدمن گزارش کردند. همبستگی قابل توجهی در اندازه گیری فشار داخل چشمی بین تونومتر تماسی رزونانسی و گلدمن و تخمین بیش از حد فشار با تونومتر تماسی رزونانسی در مقایسه با گلدمن توسط Salvetat و همکاران (۱۵) نیز تایید شده است. محدوده توافق نتایج این دو تونومتر در مطالعه حاضر ۶/۶ ± میلی متر جیوه در مقایسه با محدوده ها ی ۴/۵ ± تا ۸ ± میلی متر جیوه در مطالعات قبلی است (۲۵، ۱۵).

Hong و همکاران(۵) در مقایسه ی IOP اندازه گیری شده با سه تونومتر گلدمن (۲/۸ ± ۱۵/۵ میلی متر جیوه)، غیر- تماسی تاپکن (۴/۰ ± ۱۴/۶ میلی متر جیوه) و کورویس (۱/۶ ± ۱۴/۶ میلی متر جیوه)، تنها تفاوت آماری قابل توجهی در مقادیر IOP اندازه گیری شده با ا تونومتر تاپکن و کورویس از لحاظ آماری گزارش کردند (۵). تفاوت قابل توجه مشاهده شده در مقایسه های زوجی بین این سه تونومتر در مطالعه حاضر در تضاد با یافته های Hong و همکاران (۵) است. علاوه بر این میانگین فشار با کورویس نسبت به گلدمن بالاتر بوده که دلیل اصلی آن مشخص نیست، هرچند ممکن است تا حدودی به تفاوت در طراحی دو دستگاه، تماسی در برابر غیر تماسی، مربوط باشد. Smedowski و همکاران (۱۶) تفاوت معنی داری در میانگین IOP با استفاده از کورویس و گلدمن (به ترتیب ۰/۴ ± ۱۶/۱ و ۳/۷ ± ۱۵/۶ میلی متر جیوه) با محدوده ی توافق ۹۵ درصدی ۳/۹- تا ۴/۹ (۴/۴ ±) میلی متر جیوه را گزارش، که کمی کمتر از محدوده توافق (۵/۳ ± میلی متر جیوه) مطالعه ی حاضر است. در نقطه مقابل، مطالعه ی Reznicek و همکاران (۱۸) یک محدوده ی توافق ۶/۰۵ ± میلی متر جیوه بین گلدمن و کورویس یافتند. یک دلیل تفاوت نتایج آن ها با مطالعه حاضر می تواند به تفاوت در نمونه های بررسی شده نسبت داده شود که در مطالعه حاضر افراد طبیعی در حالیکه افراد مورد مطالعه ی آن ها شامل چشم های طبیعی، چشم های با فشار بالا ولی بدون گلوکم (هایپرتنشن چشمی) و چشمهای مبتلا به گلوکم بودند.

بررسی های قبلی تفاوت میانگین ۰/۳ و ۰/۸ میلی متر جیوه در IOP تونومتر گلدمن با IOPg و IOPcc را گزارش که به طور قابل توجهی کمتر از اختلاف ۱/۹ میلی متر جیوه به دست آمده در مطالعه حاضر هست (۲۸، ۲۷) محدوده ی توافق بین IOP اندازه گیری شده با گلدمن به ترتیب با IOPcc و IOPg در مطالعات Ogbuehi و Almubrad (۲۷) به ترتیب ۵/۲ - تا ۴/۲ + و ۵/۳ - تا ۵/۸ + میلی متر جیوه بودند، که تفاوت بیشتری را برای IOPg نشان داد. در بررسی ۵۶ بیمار با بازه ی سنی ۴۱ الی ۷۸ ساله، IOP با استفاده از گلدمن برابر با ۳/۰ ± ۱۴/۱ میلی متر جیوه و در حالیکه IOPcc و IOPg به ترتیب برابر با ۷/۷ ± ۱۶/۹ و ۴/۲ ± ۱۵/۵ میلی‌متر جیوه بود و بین دو فشار اندازه گیری شده با ORA تفاوت معنی‌داری از لحاظ آماری وجود داشت (۴). تفاوت این نتایج با مطالعه حاضر را می توان به فاکتورهای نژادی، دامنه

سنی افراد بررسی شده و وضعیت سیستم بینایی از لحاظ سابقه بیماری های چشمی نسبت داد، به هرحال این نتایج نشان می دهد اگرچه دستگاه ORA می تواند در خصوص یکسری از ویژگی های بیومکانیک قرنیه اطلاعاتی را ارائه و اندازه گیری IOP را نیز انجام دهد، اما در شرایط فعلی نمی تواند جایگزینی برای اندازه گیری فشار با تونومتر گلدمن جهت استفاده در کلینیک ها باشد.

میزان همبستگی IOP با تونومتر گلدمن با تونومترهای مختلف در یک روند افزایشی بترتیب مربوط به تونومتر غیر-تماسی تاپکن، کورویس، IOPg، IOPcc، تونومتر تماسی رزونانسی و تونومتر Icare بود و با توجه به نمودارهای بلاند-آلتمن توافق قابل توجه اندازه گیری فشار با تونومتر Icare با گلدمن قابل تایید است. این یافته با نتایج مطالعه Van der Jagt و Jansonius (۲۹) مطابقت داشته، در حالی که برخلاف یافته های ما، مطالعه Dahlmann-Nor و همکارانش (۳۰) تطابق ضعیفی بین گلدمن و تونومتر Icare یافته اند. این اختلاف بین مطالعات می تواند به دلیل نوع نمونه ی مورد مطالعه و محدوده سنی آن ها باشد، آنها کودکان مبتلا به گلوکوم با بازه ی سنی ۴/۹ تا ۱۹ ساله را مورد بررسی قرار دادند، در حالی که افراد مورد مطالعه حاضر افراد بالغ و سالم ۲۰ تا ۴۶ ساله بودند.

ارزیابی همبستگی بین IOP و ضخامت مرکزی قرنیه نشان داد که همسو با مطالعات قبلی، فشار با افزایش ضخامت مرکزی قرنیه افزایش می‌یابد (۳۲، ۳۱، ۱۲، ۱۱). همان طور که بیان شده است دستگاه ORA قادر به اندازه‌گیری فشار مستقل از ضخامت مرکزی قرنیه است. غالبا بیشترین تغییرات فشار با ضخامت قرنیه مربوط به تونومترهای غیر تماسی بوده که با مطالعه ی Gupta و همکاران (۳۲) همخوانی دارد. آن ها گزارش دادند که تونومترهای غیر تماسی بیشتر تحت تأثیر ضخامت مرکزی قرنیه قرار می گیرند به گونه ای که به ازای هر تغییر ۱۰ میکرون در ضخامت قرنیه یک تغییر ۰/۳ میلی متر جیوه ای در فشار اندازه گیری شده با تونومتر گلدمن و یک تغییر ۰/۴ میلی‌متر جیوه با تونومتر غیر تماسی گزارش شد (۳۲). مطالعه حاضر نشان داد که در چشم های سالم، غیر از IOPcc که بر اساس خصوصیات بیومکانیک قرنیه اصلاح شده است، IOP اندازه گیری شده با گلدمن در مقایسه با سایر تونومترهای غیر تماسی کمتر تحت تأثیر ضخامت مرکزی قرار می گیرد (۱۱).

طبق گزارش Whitacre و Stein (۱۳) دستگاه ORA مستقل از ضخامت قرنیه IOP را ارائه می دهد، و براساس این فرض می توان این احتمال را برای Icare به دلیل ناحیه کوچک تماس قرنیه صادق دانست. مطالعه فعلی نشان داد که IOP های اندازه گیری شده با Icare مشابه با اندازه گیری های IOPcc و گلدمن تحت تأثیر هیسترزی قرنیه قرار نمی گیرند. با این حال، علیرغم سطح تماس بسیار کوچک و تماس چشمی جزئی، به نظر نمی رسد که IOP حاصل شده با Icare مستقل از ضخامت باشد.

یکی از محدودیت های پژوهش حاضر بررسی افراد طبیعی و بدون سابقه گلوکم یا مشکوک به گلوکم یا هایپرتنشن چشمی می باشد. از دیگر محدودیت ها، می توان به اندازه‌گیری‌های مکرر IOP اشاره داشت که ممکن است بر نتایج بدست‌آمده تأثیر گذار باشد. همچنین توالی اندازه‌گیری IOP با استفاده از تونومترهای مختلف نیز از دیگر کاستی های این مطالعه به شمار می آید، زیرا ارزیابی IOP با گلدمن و تونومتر تماسی رزونانسی همیشه پس از سایر اندازه گیری ها انجام می‌شد. نکته دیگر عدم دسترسی به فشار اصلاح شده بر اساس خصوصیات بیومکانیک قرنیه ارائه شده با دستگاه کورویس (bIOP) هست که انجام چنین مطالعاتی با استفاده از bIOP خصوصا در افراد با سابقه گلوکم یا مشکوک به گلوکم و بدنبال استفاده از داروهای کنترل کننده فشار چشم توصیه می گردد.

به طور خلاصه، مطالعه حاضر نشان داد که تونومتر Icare بیشترین همبستگی را با تونومتر گلدمن دارد. ضخامت مرکزی قرنیه بر نتایج تمامی تونومترها به جز فشار اصلاح شده بر اساس خصوصیات قرنیه دستگاه آنالیز کننده پاسخ چشمی (IOPcc) تاثیر گذار هست. از بین دو پارامتر بیومکانیکی ارزیابی شده قرنیه، فاکتور مقاومت قرنیه تنها پارامتر بیومکانیکی موثر بر IOP های اندازه گیری شده با تمامی دستگاه ها بود. لازم به ذکر است که این مطالعه فقط افراد عادی را شامل می شود و شایسته است این مطالعه با بررسی افراد سالم، گلوکوم با فشار پایین و افراد با سابقه هایپرتنشن چشمی هم در آینده تکرار شود.

سپاسگزاری

نویسندگان مقاله مراتب تقدیر و تشکر خود را از معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مشهد و مسئول

محترم کلینیک چشم دیدار به دلیل حمایت از طرح پژوهشی حاضر با کد ۹۶۰۲۹۸ و با کد اخلاق IR.MUMS.REC.1396.135، و نیز پرسنل کلینیک چشم دیدار جهت همکاری در انجام این پروژه اعلام می دارند.

منابع

1. Suman S, Agrawal A, Pal VK, Pratap VB. Rebound tonometer: ideal tonometer for measurement of accurate intraocular pressure. J Glaucoma 2014; 23(9): 633-637.

2. Bao F, Deng M, Wang Q, Huang J, et al. Evaluation of the relationship of corneal biomechanical metrics with physical intraocular pressure and central corneal thickness in ex vivo rabbit eye globes. Exp Eye Res 2015; 137: 11-17.

3. Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Fernandez-Vidal A, Mendez-Hernandez C, et al. Ocular response analyzer versus Goldmann applanation tonometry for intraocular pressure measurements. Invest Ophthalmol Vis Sci 2006; 47(10): 4410-4414.

4. Bayoumi NH, Bessa AS, El Massry AA. Ocular response analyzer and goldmann applanation tonometry: a comparative study of findings. J Glaucoma 2010; 19(9): 627-631.

5. Hong J, Xu J, Wei A, Deng SX, et al. A new tonometer--the Corvis ST tonometer: clinical comparison with noncontact and Goldmann applanation tonometers. Invest Ophthalmol Vis Sci 2013; 54(1): 659-665.

6. Eklund A, Hallberg P, Lindén C, Lindahl OA. An applanation resonator sensor for measuring intraocular pressure using combined continuous force and area measurement. Invest Ophthalmol Vis Sci 2003; 44(7): 3017-3024.

7. Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. Ophthalmology 2008; 115(1): 80-84.

8. Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Castillo A, Garcia-Sanchez J. Reproducibility and clinical evaluation of rebound tonometry. Invest Ophthalmol Vis Sci 2005; 46(12): 4578-4580.

9. Yao WJ, Crossan AS. An update on postrefractive surgery intraocular pressure determination. Curr Opin Ophthalmol 2014; 25(4): 258-263.

10. Harada Y, Hirose N, Kubota T, Tawara A. The influence of central corneal thickness and corneal curvature radius on the intraocular pressure as

measured by different tonometers: noncontact and goldmann applanation tonometers. J Glaucoma 2008; 17(8): 619-625.

11. Murase H, Sawada A, Mochizuki K, Yamamoto T. Effects of corneal thickness on intraocular pressure measured with three different tonometers. Jpn J Ophthalmol 2009; 53(1): 1-6.

12. Doughty MJ, Zaman ML. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. Surv Ophthalmol 2000; 44(5): 367-408.

13. Whitacre MM, Stein R. Sources of error with use of Goldmann-type tonometers. Surv Ophthalmol. 1993; 38(1): 1-30.

14. Morales-Fernandez L, Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Saenz-Frances F, et al. Reproducibility of the new Goldmann AT900D digital tonometer. J Glaucoma 2012; 21(3): 186-188.

15. Salvetat ML, Zeppieri M, Tosoni C, Brusini P. Repeatability and accuracy of applanation resonance tonometry in healthy subjects and patients with glaucoma. Acta Ophthalmol 2014; 92(1): e66-73.

16. Ogbuehi KC, Mucke S, Osuagwu UL. Influence of central corneal thickness on measured intraocular pressure differentials: Nidek RKT-7700, Topcon CT-80 NCTs and Goldmann Tonometer. Ophthalmic Physiol Opt 2012; 32(6): 547-555.

17. Sullivan-Mee M, Gerhardt G, Halverson KD, Qualls C. Repeatability and reproducibility for intraocular pressure measurement by dynamic contour, ocular response analyzer, and goldmann applanation tonometry. J Glaucoma 2009; 18(9): 666-673.

18. Reznicek L, Muth D, Kampik A, Neubauer AS, et al. Evaluation of a novel Scheimpflug-based non-contact tonometer in healthy subjects and patients with ocular hypertension and glaucoma. Br J Ophthalmol 2013; 97(11): 1410-1414.

19. Luce DA. Determining in vivo biomechanical properties of the cornea with an ocular response analyzer. J Cataract Refract Surg. 2005;31(1):156-162.

20. Bang SP, Lee CE, Kim YC. Comparison of intraocular pressure as measured by three different non-contact tonometers and goldmann applanation tonometer for non-glaucomatous subjects. BMC Ophthalmol 2017; 17(1): 199.

21. Grippo TM, Liu JH, Zebardast N, Arnold TB, et al. Twenty-four-hour pattern of intraocular pressure in untreated patients with ocular hypertension. Invest Ophthalmol Vis Sci 2013; 54(1): 512-517.

22. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet 1986; 1(8476): 307-310.

23. WM PL. Foundations of Clinical Research. Applications to Practice. . 2 ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall Health2000.

24. Galgauskas S, Strupaite R ,Strelkauskaite E, Asoklis R. Comparison of intraocular pressure measurements with different contact tonometers in young healthy persons. Int J Ophthalmol 2016; 9(1): 76-80.

25. Jóhannesson G, Hallberg P, Eklund A, Lindén C. Introduction and clinical evaluation of servo-controlled applanation resonance tonometry. Acta Ophthalmol 2012; 90(7): 677-682.

26. Smedowski A, Weglarz B, Tarnawska D, Kaarniranta K, et al. Comparison of three intraocular pressure measurement methods including biomechanical properties of the cornea. Invest Ophthalmol Vis Sci 2014; 55(2): 666-673.

27. Ogbuehi KC, Almubrad TM. Evaluation of the intraocular pressure measured with the ocular response analyzer. Curr Eye Res 2010; 35(7): 587-596.

28. Kouchaki B, Hashemi H, Yekta A, Khabazkhoob M. Comparison of current tonometry techniques in measurement of intraocular pressure. J Curr Ophthalmol 2017; 29(2): 92-97.

29. van der Jagt LH, Jansonius NM. Three portable tonometers, the TGDc-01, the ICARE and the

Tonopen XL, compared with each other and with Goldmann applanation tonometry*. Ophthalmic Physiol Opt 2005; 25(5): 429-435.

30. Dahlmann-Noor AH, Puertas R, Tabasa-Lim S, El-Karmouty A, et al. Comparison of handheld rebound tonometry with Goldmann applanation tonometry in children with glaucoma: a cohort study. BMJ Open 2013; 3(4): e001788.

31. Fern KD, Manny RE, Gwiazda J, Hyman L, et al. Intraocular pressure and central corneal thickness in the COMET cohort. Optom Vis Sci 2012; 89(8): 1225-1234.

32. Gupta V, Sony P, Agarwal HC, Sihota R, et al. Inter-instrument agreement and influence of central corneal thickness on measurements with Goldmann, pneumotonometer and noncontact tonometer in glaucomatous eyes. Indian J Ophthalmol 2006; 54(4): 261-265.