

مقایسه دقت اندازه گیری فشار داخل چشم با سه تونومتر پالس ایر، تونوپن و گلدمن

دکتر رعنا سرخابی*، دکتر پژمان خطیبیان**

دریافت: ۸۸/۷/۲۸، پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۵

چکیده:

مقدمه و هدف: اندازه گیری فشار داخل چشمی علاوه بر نقش مهمی که در تشخیص و اداره بیماران گلوکومی دارد یکی از پارامترهای اساسی در هر مقایسه چشم پزشکی است، به همین منظور این مطالعه با هدف تعیین دقت دو روش مختلف تونومتری با دستگاه غیر تماسی پالس ایر و تونوپن در مقایسه با دستگاه گلدمن که به عنوان روش استاندارد طلائی پذیرفته شده است طراحی و انجام گردید.

روش کار: در این مطالعه توصیفی مقطعی، پس از انجام معاینات کامل چشم پزشکی فشار داخل چشمی ۱۵۰ بیمار با ۳ دستگاه گلدمن، پالس ایر و تونوپن اندازه گیری شد. میانگین مقادیر اندازه گیری شده با هر ۳ دستگاه و اختلاف مقادیر اندازه گیری شده با دو دستگاه پالس ایر و تونوپن با دستگاه گلدمن محاسبه و با استفاده از روشهای آماری توصیفی و آزمونهای t و آنالیز رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

نتایج: متوسط فشار داخل چشمی اندازه گیری شده دو دستگاه پالس ایر بیشتر از گلدمن و تونوپن بود ($p=0/03$). بین مقادیر اندازه گیری شده با هر سه دستگاه ضریب همبستگی قابل قبولی وجود داشت ($r^2=0/71$). اختلاف مقادیر اندازه گیری شده بین دو روش پالس ایر و گلدمن با مقدار صفر مطلق تفاوت معنی داری نداشت ($p=0/19$) ولی این اختلاف بین مقادیر اندازه گیری شده در تونوپن با گلدمن معنی دار بود ($p=0/02$). هر دو دستگاه تونوپن و پالس ایر در محدوده فشارهای بالا بطور کاذب مقادیر کمتری را نشان دادند.

نتیجه نهایی: هر دو روش پالس ایر و تونوپن در محدوده فشارهای داخل چشمی طبیعی در مقایسه با گلدمن از دقت قابل قبولی برخوردارند ولی در موارد مشکوک از جمله در بیماران مبتلا به گلوکوم یا هیپرتانسیون چشمی بهتر است کماکان به نتایج روش گلدمن به عنوان استاندارد طلائی تکیه نمود.

کلید واژه ها: پالس ایر / تونوپن / فشار داخل چشمی / گلدمن

مقدمه:

به سهولت قابل استفاده نمی باشد. دقت اندازه گیری فشار داخل چشمی با این روش تحت تاثیر ضخامت و انحنای قرنیه قرار می گیرد (۱،۲). تونوپن یک وسیله قابل حمل برای اندازه گیری فشار داخل چشمی می باشد که فشار داخل چشم را با تبدیل آن به یک سیگنال الکتریکی با استفاده از ریز پردازنده های موجود در نوک پروب اندازه گیری می نماید. سهولت استفاده از این سیستم از عمده ترین مزایای آن می باشد (۳،۴).

اندازه گیری فشار داخل چشمی علاوه بر نقش مهمی که در تشخیص و اداره بیماران گلوکومی دارد یکی از پارامترهای اساسی در هر معاینه چشم پزشکی می باشد (۱). تونومتری اپلاناسیون گلدمن به عنوان روش استاندارد طلائی برای اندازه گیری فشار داخل چشمی به مدت بیش از ۵ دهه بکار می رود. استفاده از این روش برای اندازه گیری فشار داخل چشمی نیازمند همکاری بیمار و مهارت کافی می باشد و در بیماران غیر همکار و گروه سنی اطفال

* استادیار گروه چشم پزشکی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز (Sorkhabi_r@yahoo.com)

** دستیار گروه چشم پزشکی دانشکده پزشکی دانشگاه علوم پزشکی تبریز

اندازه گیری برای هر بیمار انجام می شد و اندازه گیریها در محدوده ± 2 میلیمتر جیوه گزارش می گردید و متوسط این سه اندازه گیری در آنالیزهای آماری مورد استفاده قرار می گرفت. فاصله زمانی بین اندازه گیری با دستگاههای مختلف حداقل ۵ دقیقه بود و تمامی دستگاهها بطور روزانه در طول مدت مطالعه کالیبره می شدند. ابتدا اندازه گیری فشار داخل چشمی با دستگاه پالس ایر (Pulsair Easy Eye- keeler - ساخت انگلستان) انجام می شد به این منظور از بیمار درخواست می شد که به یک نقطه دور دست خیره شود، سپس دستگاه از فاصله ۲۵ سانتی متری به آهستگی به بیمار نزدیک می شد. با نزدیک شدن به چشم بیمار ابتدا ۲ نقطه سبز رنگ دیده می شد، در ادامه یک رفلکس قرمز رنگ ظاهر و در فاصله تقریباً ۱۵ میلیمتری یک تصویر کراوات مانند (bowtie) بر روی قرنیه دیده می شد که با سنتر کردن این تصویر روی قرنیه پاف هوا بر روی قرنیه بیمار دمیده می شد و فشار داخل چشمی بصورت عددی برحسب میلیمتر جیوه بر روی دستگاه ثبت می گردید.

روش دوم اندازه گیری فشار داخل چشم با دستگاه تونوپن (Tonopen- XT - Medtronic - ساخت امریکا) بود. پس از استفاده از قطره بیحسی موضعی و کنترل کالیبراسیون دستگاه در حالیکه بیمار با پلک های باز به رو به رو خیره می شد، نوک پروب در تماس با سطح قرنیه بیمار بدون اعمال فشار بر سطح قرنیه قرار می گرفت. با یک بار فشار دادن بر روی دگمه دستگاه و شنیدن صدای " بیپ " اندازه گیری در مدت ۱۵ ثانیه انجام می شد و نتیجه بر روی دستگاه ثبت می گردید.

روش سوم اندازه گیری با تونومتر اپلاناسیون گلدمن (Haag- Streit - ساخت سوئیس) بود که بدین منظور ابتدا سطح چشم با استفاده از قطره تتراکائین بی حس و کاغذ فلوفورسئین به مدت ۵-۳ ثانیه در فونیکس تحتانی قرار داده میشد، پس از ضد عفونی کردن سرتونومتر اندازه گیری فشار داخل چشم توسط یک چشم پزشک صورت می گرفت. با در نظر گرفتن روش گلدمن به عنوان روش استاندارد طلائی در تمام بیماران اختلاف فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با دستگاه پالس ایر و تونوپن با دستگاه گلدمن مقایسه می شد و میانگین این اختلاف محاسبه می گردید. تمامی داده ها توسط نرم افزار آماری SPSS نسخه ۱۳ ذخیره و پردازش شدند و اطلاعات به دست آمده از مطالعه

پالس ایر از جمله دستگاههای تونومتری غیر تماسی می باشد که از اواخر دو دهه قبل (۱۹۸۶) وارد بازار شده و در سالهای اخیر بصورت رایج مورد استفاده قرار گرفته است. این دستگاه از طریق پالس هوا باعث اپلاناسیون قرنیه می شود. قابل حمل بودن دستگاه و عدم نیاز به بی حسی موضعی باعث می شود که به عنوان یک روش سریع در غربالگری بکار رود (۵).

در مطالعه حاضر دقت اندازه گیری فشار داخل چشمی در سه روش تونوپن ، اپلاناسیون گلدمن و پالس ایر در چشم های با ضخامت و شعاع انحنای طبیعی قرنیه هدف مورد بررسی می باشد.

روش کار:

در این مطالعه توصیفی مقطعی که بر روی بیماران مراجعه کننده به کلینیک چشم پزشکی بیمارستان نیکوکاری تبریز انجام گرفت، پس از ارائه توضیحات لازم و اخذ رضایت نامه از بیماران واجد شرایط، معاینه کامل چشم پزشکی شامل رفرکشن، بیومیکروسکوپی با اسلیت لامپ ، اولتراسوند پاکی متری، کراتومتری و فوندوسکوپی انجام شد.

بررسی بر روی ۱۵۰ بیمار در محدوده سنی ۸۴-۱۸ سال صورت گرفت. بیماران با اسفریکال اکی والانت بیشتر از ± 5 دیوپتر ، آستیگماتیسم قرنیه ای بیشتر از ۳ دیوپتر ، ضخامت قرنیه کمتر از ۵۰۰ و بیشتر از ۶۰۰ میکرون ، وجود هرگونه بیماری قرنیه ای ، سابقه جراحی داخل چشمی و ترومای چشمی ، سابقه هرگونه بیماری چشمی به جز کاتاراکت از مطالعه خارج شدند.

اندازه گیری انحناء قرنیه با استفاده از کراتومتر (PRK 5000- Protec - ساخت کره) قبل از پاکی متری و اندازه گیری فشار داخل چشمی انجام شد و متوسط مقادیر در دو مریدین اصلی قرنیه به عنوان متوسط انحناء قرنیه (برحسب دیوپتر) در نظر گرفته شد.

پاکی متری اولترا سونیک قرنیه با استفاده از دستگاه (Tomey - SP 3000 - ساخت ژاپن) انجام شده و متوسط سه بار اندازه گیری ضخامت مرکزی قرنیه در محدوده ± 5 میکرون به عنوان ضخامت مرکزی قرنیه در نظر گرفته شد. تمام اندازه گیری های فشار داخل چشمی در وضعیت نشسته انجام گرفت. اندازه گیری با هر سیستم توسط یک چشم پزشک یا دستیار که اطلاعی از نتایج سایر اندازه گیریها نداشتند انجام می شد. در هر سه روش ، سه بار

میانگین فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با روش پالس ایر به ترتیب بیشتر از روش گلدمن و تونوپن بود و این اختلاف از نظر آماری معنی دار بود ($p=0/03$) و بین مقادیر اندازه گیری شده با این سه دستگاه ضریب همبستگی نسبتاً بالایی وجود داشت ($r^2=0/71$).

میانگین اختلاف محاسبه شده در روش پالس ایر با روش گلدمن $0/33 \pm 3/06$ و میانگین اختلاف محاسبه شده در روش تونوپن با روش گلدمن $0/55 \pm 2/84$ - میلیمتر جیوه بود (جدول ۲). با مقایسه مقادیر فوق با صفر و آنالیز آماری مشخص گردید که بین میانگین اختلاف محاسبه شده در روش پالس ایر با روش گلدمن با مقدار مطلق صفر تفاوت معنی داری وجود ندارد ($p=0/19$) ولی بین میانگین اختلاف محاسبه شده بین روش تونوپن با روش گلدمن با مقدار مطلق صفر تفاوت معنی داری وجود دارد ($p=0/02$).

جدول ۲: مقادیر فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با دستگاههای مختلف و اختلاف فشار اندازه گیری شده دستگاههای مختلف با روش گلدمن

| محدوده | میانگین \pm انحراف معیار | |
|--------|----------------------------|-------------------------|
| ۸ - ۲۳ | $14/45 \pm 3/23$ | گلدمن (میلیمتر جیوه) |
| ۵ - ۲۹ | $13/85 \pm 3/79$ | تونوپن (میلیمتر جیوه) |
| ۷ - ۲۶ | $15/17 \pm 3/99$ | پالس ایر (میلیمتر جیوه) |
| -۸ - ۷ | $-0/55 \pm 2/84$ | گلدمن - تونوپن |
| -۹ - ۷ | $0/33 \pm 3/06$ | گلدمن - پالس ایر |

آنالیز رگرسیون خطی نشان داد که بین اختلاف فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با دو روش پالس ایر و گلدمن با مقادیر مطلق اندازه گیری شده به روش گلدمن ارتباطی وجود ندارد ($p=0/06$ و $r^2=0/09$) ولی بین اختلاف فشار داخل چشمی با دو روش تونوپن و گلدمن با مقادیر مطلق اندازه گیری شده به روش گلدمن ارتباط معنی داری وجود دارد ($p=0/03$ و $r^2=0/28$) (نمودار ۲).

به وسیله روشهای آماری توصیفی ارائه شدند. برای مقایسه میانگین فشار داخل چشمی اندازه گیری شده توسط دستگاههای مختلف از تست t و برای آنالیز ارتباط بین فشار داخل چشمی و ضخامت قرنیه و سن بیماران از آنالیز رگرسیون خطی استفاده گردید.

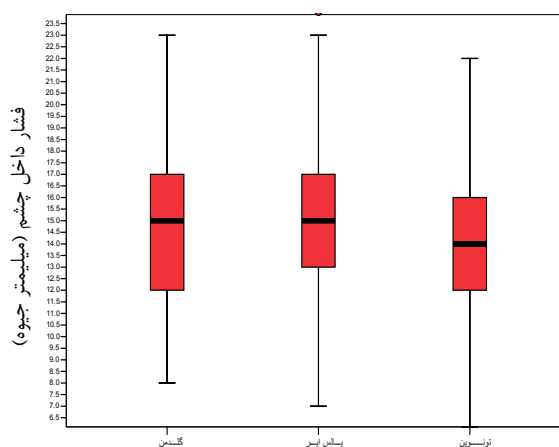
نتایج:

تعداد ۱۵۰ چشم از ۱۵۰ بیمار وارد مطالعه شدند. از بیماران مورد مطالعه ۸۰ نفر (۵۳/۳ درصد) مرد و ۷۰ نفر (۴۶/۷ درصد) زن بودند. میانگین سنی بیماران $61 \pm 14/28$ سال که در محدوده سنی ۱۸-۸۴ سال بودند. از چشم های مورد بررسی ۷۲ مورد (۴۸ درصد) چشم راست و ۷۸ مورد (۵۲ درصد) چشم چپ بود. متوسط ضخامت مرکزی قرنیه بیماران $535/54 \pm 27/62$ میکرون و متوسط قدرت قرنیه $44/57 \pm 1/85$ دیوپتر و متوسط آستیگماتیسم قرنیه ای $0/95 \pm 0/65$ دیوپتر بود (جدول ۱).

جدول ۱: مشخصات بالینی بیماران مورد مطالعه

| محدوده | میانگین \pm انحراف معیار | |
|--------------|----------------------------|-------------------------------|
| ۱۸ - ۸۴ | $61 \pm 14/28$ | سن (سال) |
| ۵۰۰ - ۶۰۰ | $535/54 \pm 27/62$ | ضخامت مرکزی قرنیه (میکرون) |
| -۵ - +۳ | $-1/31 \pm 2/30$ | اسفریکال اکی والان (دیوپتر) |
| -۰۲/۹۲ | $0/95 \pm 0/65$ | آستیگماتیسم قرنیه ای (دیوپتر) |
| ۴۰/۸ - ۵۲/۲۵ | $44/57 \pm 1/85$ | قدرت قرنیه (دیوپتر) |

متوسط فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با روش گلدمن $14/45 \pm 3/23$ با روش تونوپن $13/85 \pm 3/79$ و با روش پالس ایر $15/17 \pm 3/99$ میلیمتر جیوه بود (نمودار ۱).



نمودار ۱: مقایسه میانگین فشار داخل چشم اندازه گیری شده با سه تونومتر مختلف

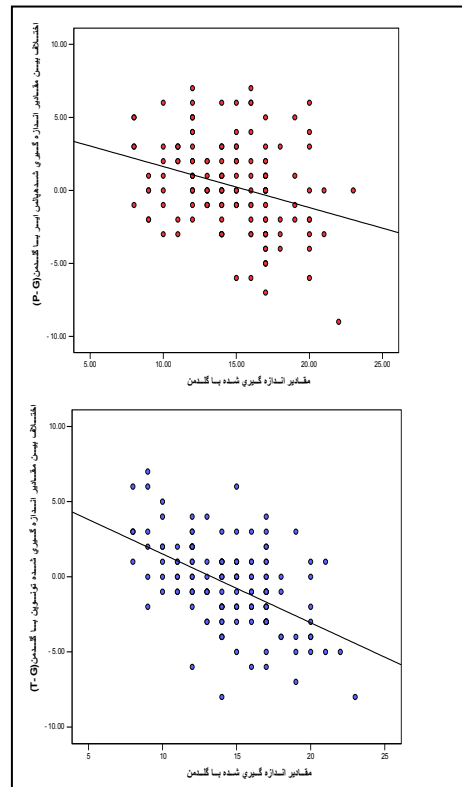
۰/۳۳±۳/۰۶ میلیمتر جیوه بود. با مقایسه این مقدار با صفر مشخص گردید که گرچه میانگین فشار داخل چشمی اندازه گیری شده در روش پالس ایر بیشتر از روش گلدمن می باشد ولیکن این اختلاف از نظر آماری معنی دار نمی باشد. ($p=0/19$)

در مطالعه آگوهی و همکاران میانگین فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با روش پالس ایر مختصری (۰/۰۵ تا ۰/۱ میلیمتر جیوه) بالاتر از روش گلدمن گزارش شده است که در توجیه این امر به اثر فشاری ناشی از اپلاناسیون در روش گلدمن که باعث افزایش جریان خروجی آکوز و کاهش مختصر حجم و متعاقباً کاهش کاذب فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با روشهای اپلاناسیون بعدی می شود اشاره شده است (۸). در مطالعه ما به منظور به حداقل رسانیدن این اثر، تونومتری گلدمن پس از روشهای دیگر تونومتری انجام گردیده و حداقل بین روشهای مختلف اندازه گیری ۵ دقیقه فاصله زمانی منظور شده است. البته برنچر و همکاران و هانسن نیز نشان دادند که روشهای تونومتری غیر تماسی همواره مقادیر کمتری را از تونومتری گلدمن نشان می دهند (۹،۱۰).

در بررسی نتایج آزمون رگرسیون بین اختلاف فشار روش پالس ایر و گلدمن با مقادیر مطلق اندازه گیری شده به روش گلدمن مشخص گردید که این اختلاف در محدوده فشارهای داخل چشمی پائین در حداکثر مقدار خود می باشد. به عبارت دیگر روش پالس ایر در محدوده فشارهای پائین تر باعث تخمین مقادیر کاذب بالاتر و در محدوده فشارهای داخل چشمی بالاتر باعث تخمین مقادیر کاذب پائین تری از فشار داخل چشمی می باشد و این نتیجه منطبق بر نتایج مطالعات قبلی است که بیان نموده اند روشهای تونومتری غیر تماسی در محدوده فشار داخل چشمی طبیعی مقادیر بیشتر و در محدوده فشار داخل چشمی بالاتر مقادیر کمتری را در مقایسه با روش گلدمن نشان می دهند (۱۱-۱۴).

در بررسی همبستگی بین مقادیر اندازه گیری شده با تونومتر گلدمن و پالس ایر مشخص گردید که بین مقادیر اندازه گیری شده با این دو روش ارتباط وجود دارد ($r^2=0/33$) که این یافته ها با نتایج مطالعات قبلی انجام گرفته توسط لوسون و پارکر همخوانی دارد (۷،۱۵).

از مجموعه داده ها در مورد مقایسه تونومتر پالس ایر



نمودار ۲: منحنی رگرسیون - اختلاف مقادیر اندازه گیری شده تونوپن و پالس ایر با گلدمن در مقایسه با مقادیر اندازه گیری شده گلدمن

در بررسی ارتباط بین مقادیر فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با سه دستگاه و ضخامت مرکزی قرنیه مشخص گردید که بین مقادیر اندازه گیری شده با تونومتر گلدمن و ضخامت مرکزی قرنیه ارتباط وجود دارد ($r^2=0/04$ و $p=0/01$) ولی بین مقادیر اندازه گیری شده با تونوپن و پالس ایر با ضخامت مرکزی قرنیه رابطه ای وجود ندارد.

بحث:

سه دستگاه گلدمن، تونوپن و پالس ایر از تونومترهای اپلاناسیون می باشند هر چقدر وسعت منطقه اپلاناسیون کمتر باشد اختلاف بین فشار اپلاناسیون و فشار داخل چشمی کمتر خواهد بود (۶).

در مطالعه حاضر مشخص گردید که دستگاه پالس ایر فشار داخل چشمی را بالاتر از روش گلدمن و تونوپن اندازه گیری می نماید. در مطالعه پارکر و همکاران نیز فشار داخل چشمی اندازه گیری شده به روش پالس ایر بیشتر از روش گلدمن بود (۷) که مشابه نتایج مطالعه ما می باشد. میانگین اختلاف این دو روش در مطالعه پارکر و همکاران $0/48 \pm 1/12$ میلیمتر جیوه و در مطالعه ما

تونومتري غير تماسي بيشتري از روش گلدمن به اثرات ناشی از ضخامت قرنیه حساس می باشند (۶) که بنظر می رسد این تاثیر پذیری بیشتر از اینکه ناشی از اثر مستقیم ضخامت قرنیه باشد، ناشی از خواص ویسکوالاستیک قرنیه است و نتایج حاصل از مطالعه ما احتمالاً ناشی از آن است که ما بیماران با قرنیه های با ضخامت کمتر از ۵۰۰ و بالاتر از ۶۰۰ میکرون را مورد مطالعه قرار نداده ایم و شاید مطالعات دیگری روی بیماران در محدوده وسیعتری از ضخامت قرنیه و با در نظر گرفتن پارامترهای بیومکانیکال قرنیه بتواند به نتیجه گیری دقیق تر کمک نماید.

در مورد نبود ارتباط بین مقادیر اندازه گیری شده با تونوپن و ضخامت مرکزی قرنیه بنظر می رسد که نتایج ناشی از دیامتر و سطح کمتر تماس در روش تونوپن باشد. البته نتیجه به دست آمده از مطالعه ما با نتایج مطالعه دوهادوالا و همکاران مغایر می باشد، آنها در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که به ازای هر ۱۰۰ میکرون افزایش ضخامت قرنیه فشار داخل چشمی با تونوپن ۲ میلیمتر جیوه بیشتر اندازه گیری می شود (۲۰). با توجه به محدوده باریک ضخامت قرنیه بیماران وارد شده به مطالعه ما نتیجه به دست آمده از مطالعه حاضر چندان دور از ذهن نمی باشد چراکه وابستگی بین تونوپن و ضخامت مرکزی قرنیه در محدوده نسبتاً وسیعی از ضخامت قرنیه قابل بررسی و ارزیابی است. بنابراین بنظر می رسد که بتوان استنباط نمود که در محدوده ضخامت قرنیه بین ۶۰۰-۵۰۰ میکرون تونوپن کمتر تحت تاثیر قرار میگیرد.

نتیجه نهایی:

دو روش تونوپن و پالس ایر با توجه به سهولت استفاده، قابل حمل بودن و عدم وابستگی زیاد به فرد کاربر، در محدوده فشارهای داخل چشمی طبیعی در برنامه های غربالگری می تواند کاربرد وسیعی داشته باشند ولی با تاکید بر تخمین پائین هر دو روش در فشارهای بالا در موارد مشکوک از جمله در ارزیابی بیماران مبتلا به گلوکوم یا هیپرتانسیون چشمی علاوه بر روشهای فوق در ارزیابی و اداره بیماران بایستی به روش گلدمن به عنوان روش استاندارد طلائی کماکان تکیه نمود.

سپاسگزاری:

از همکاری سرکار خانم هانیه سخا در مشاوره آماری مطالعه تقدیر و تشکر می شود.

و گلدمن می توان به این نتیجه رسید که تونومتر پالس ایر در مقایسه با تونومتر گلدمن از دقت قابل قبولی در ارزیابی فشار داخل چشم برخوردار است که این دقت بویژه در محدوده فشار داخل طبیعی بارزتر می باشد ولی در صورت بالاتر بودن فشار داخل چشمی از مقادیر طبیعی به دلیل احتمال کاهش کاذب مقادیر اندازه گیری شده با پالس ایر بهتر است که از روشهای دقیقتری بهره برد. البته به دلیل آنکه طول زمان رسیدن هوا و محاسبه فشار توسط دستگاه پالس ایر در کسری از ثانیه و در مقطع کوتاهی از یک سیکل نبض انجام می گیرد برخی محققین توصیه نموده اند که برای هر چشم بیش از یک نوبت اندازه گیری توسط دستگاه پالس ایر انجام شود (۱۶) و ما در مطالعه خود به منظور افزایش دقت نتایج متوسط سه بار اندازه گیری را منظور نمودیم.

در مقایسه روش تونوپن با تونومتر گلدمن مشخص گردید که متوسط مقادیر اندازه گیری شده با روش تونوپن کمتر از روش گلدمن می باشد ولیکن این اختلاف از نظر آماری معنی دار نمی باشد. ضمناً بین مقادیر اندازه گیری شده با تونوپن و گلدمن ارتباط قابل قبولی وجود دارد که البته وجود این همبستگی چندان دور از انتظار نمی باشد چرا که در هر دو روش از اپلاناسیون برای اندازه گیری فشار داخل چشمی استفاده می شود. وقتیکه متوسط اختلاف محاسبه شده بین دو روش تونوپن و گلدمن را مقایسه کردیم متوجه شدیم که تونوپن فشار داخل چشمی را با تفاوت آماری معنی داری نسبت به روش گلدمن کمتر نشان می دهد. با آنالیز رگرسیون خطی نیز به این نتیجه رسیدیم که در فشارهای داخل چشمی پائین تر، تونوپن فشار را بالاتر و در فشارهای داخل چشمی بالاتر فشار را پائین تر نشان می دهد که این نتایج با مطالعات قبلی انجام شده در این زمینه همخوانی دارد (۱۹-۱۷).

در بررسی رابطه بین ضخامت قرنیه با فشار داخل چشمی اندازه گیری شده با روش های مختلف تونومتري، نتایج مطالعه ما نشانگر آن بود که در محدوده ضخامت قرنیه بیماران مورد مطالعه، مقادیر اندازه گیری شده با تونوپن و پالس ایر با ضخامت مرکزی قرنیه ارتباطی نداشته ولی مقادیر اندازه گیری شده با گلدمن با ضخامت مرکزی قرنیه در ارتباط بوده است. در مطالعات قبلی نشان داده شده است که روشهای

منابع:

1. Lanza M, Borrellia M, Bernardo MD, Filosa ML, Rosa N. Corneal parameters and difference between goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry in normal eyes. *J Glaucoma* 2008; 7 (6):460-464.
2. Whitcare MC, Stein R. Sources of error of goldmann type tonometers. *Surv Ophthalmol* 1993; 38(1):1-30.
3. Mok KH, Wong CS, Lee VW. Tonopen tonometer and corneal thickness. *Eye* 1999; 13(1):35-7.
4. Sponsel WE, Kaufman PI, Strinden TI, DePaul KL, Bowes HN, Olander KW, et al. Evaluation of the keeler non contact pulsair tonometer. *Acta Ophthalmol* 1989; 67 (5):567-572.
5. Ogbuehi KC. Assessment of the accuracy and reliability of the topcon CT80 non- contact tonometer. *Clin Exp Optom* 2006; 89 (5):310-4.
6. Tonnu PA, Ho T, Newson T, El Sheikh A, Sharma K, White E, et al. The influence of central corneal thickness and age on intraocular pressure measured by pneumotonometry, non contact tonometry, the tonopen XL, and goldmann applanation tonometry. *B J Ophthalmol* 2005; 89(7):851-854.
7. Parker VA, Herrtage J, Sarkies NJ. Clinical comparison of the keeler pulsair 3000 with goldmann applanation tonometry. *Br J Ophthalmol* 2001; 85(11):1303-4.
8. Ogbuehi KC, Almubrad TM. Accuracy and reliability of the keeler pulsair easy Eye non contact tonometer. *Optom Vis Sci* 2008; 85(1):61-66.
9. Brencher HL, Kohl P, Reinke AR, Yolton RL. Clinical comparison of air-puff and goldmann tonometers. *J Am Assoc* 1991; 62(5):395-402.
10. Hansen MK. Clinical comparison of the XPERT non-contact tonometer and the conventional goldmann applanation tonometer. *Acta Ophthalmol Scand* 1995; 73(2):176-80.
11. Moseley MJ, Evans NM, Fielder AR. Comparison of a new non-contact tonometer with goldmann applanation. *Eye* 1989; 3(3):332-7.
12. Kretz G, Demailly P. X-PE RT NCT advanced logic tonometer valuation. *Int Ophthalmol* 1992; 16(4):287-90.
13. Pointer JS. Human intraocular pressure and its diurnal variation in healthy subjects. *Ophthalmic Physiol Opt* 1999; 9(2):43-8.
14. Tonnu PA, Ho T, Sharma K, White E, Bunce C, Garway-Heath D. A comparison of four methods of tonometry: method agreement and interobserver variability. *Br J Ophthalmol* 2005; 89(7):847-50.
15. Lawson-Kopp W, Dejong A, Yudcovitch L, Williams S, Kohl P, Yolton RL. Clinical evaluation of the keeler pulsair 3000 non-contact tonometer. *Optometry* 2002; 73(22):81-90.
16. McCaghrey GE, Matthews FE. The Pulsair 3000 tonometer-how many readings need to be taken to ensure accuracy of the average? *Ophthalmic Physiol Opt* 2001; 21(4):334-338.
17. Hessemer V, Rossler R, Jacobi KW. Tonopen, a new tonometer. *Int Ophthalmol* 1989; 13(1):51-6.
18. Boothe WA, Lee DA, Panek WC, Pettit TH. The tono-pen. A manometric and clinical study. *Arch Ophthalmol* 1988; 106(9):1214-17.
19. Hessemer V, Rossler R, Jacobi KW. Tono-pen versus manometer. *Klin Augenheilkd* 1989; 195(1):23-7.
20. Dohadwala AA, Munger R, Damji KF. Positive correlation between tono-pen intraocular pressure and central corneal thickness. *Ophthalmology* 1998; 105(10):1849-1854.