

Dynamic Contour Tonometry와 골드만 압평 안압계의 비교

서장원 · 신동민 · 노세현

동아대학교 의과대학 안과학교실

목적: Dynamic contour tonometry(DCT, PASCAL[®])로 측정한 안압과 골드만 압평안압계(GAT)로 측정한 안압을 비교해보고, 중심각막 두께와의 관계에 대해 알아보고자 하였다.

대상과 방법: 녹내장(135안), 녹내장의증(14안) 및 고안압증(16안)으로 치료 중인 83명 165안을 대상으로 하였으며, 각막두께 측정은 초음파각막두께측정계로 측정하였다.

결과: DCT로 측정한 안압과 GAT로 측정한 안압 사이에는 뚜렷한 상관관계를 나타냈다($r=0.733$, $p<0.001$). GAT로 측정한 안압은 중심각막 두께와 유의한 상관관계를 가졌고($r^2=0.145$, $p<0.001$), DCT로 측정한 안압은 중심각막두께와 유의한 상관관계를 보이지 않았으며($r^2=0.012$, $p=0.081$), GAT와 DCT로 측정한 안압의 차이는 중심각막두께와 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다($r^2=0.124$, $p<0.0001$).

결론: DCT는 신뢰도 있는 안압 측정 장비인 것으로 사료되며, GAT와는 달리 중심각막두께에 크게 영향을 받지 않고 안압을 측정할 수 있을 것으로 생각된다.

〈대한안과학회지 2009;50(2):242-246〉

안압의 측정은 녹내장 환자에서만뿐만 아니라 대부분의 안과 내원 환자에게 기본적으로 시행되는 검사 중 하나이다. 정확한 안압의 측정은 원발성 개방각녹내장, 정상안압녹내장 또는 고안압증의 감별 수단이 될 수 있을 뿐만 아니라 녹내장 환자에서의 경과 관찰에 중요한 역할을 한다.

1954년에 골드만 압평안압계가 소개된 이후, 이 안압계는 안압측정의 대부분에 이용되었으며 비교적 정확한 안압을 측정할 수 있었다.^{1,2} 그러나 측정 원리 상 중심 각막을 편평하게 하는데 필요한 압력을 측정하는 것으로 이는 각막의 두께를 포함한 각막의 특성에 영향을 받게 되는 단점이 있었다.

여러 연구에서 각막의 두께 10 μm 변화에 따라 0.19 mmHg 부터 0.7 mmHg까지 안압에 영향을 주는 것으로 알려졌다.³⁻⁵ 고안압증 환자에서 중심각막두께가 두꺼울 때, 안압이 과측정되어 잘못된 치료가 되어 질 수 있다.⁶⁻⁸ 그러므로 중심 각막의 두께에 영향을 받지 않으면서, 정상인에서의 각막두께에 따른 보정된 안압의 측정, 또는 굴절 교정 수술 전 후의 안압 측정에 많은 방법들이 고안되고 있다.

그 중 파스칼 안압계(dynamic contour tonometry, PASCAL[®])는 세극등 현미경에 거치하여 각막의 압평 없이 각막의 변형을 초래하지 않고 각막의 특성에 영향을 받지 않게 고안된 안압계로서 센서 팁은 각막의 곡률에 최대한 가깝게 만들어져 각막에 접촉하여 직접적으로 안압을 측정하게 된다. 이 안압계는 각막의 정점과 접촉 시 각막표면의 형태변화가 거의 없게 되며, 이론적으로 각막 내에 작용하는 모든 방향의 힘들이 각막 접촉부분에 내장되어 있는 압력센서로 균등하게 향하게 된다. 여러 연구에서 파스칼 안압계가 안압 측정의 효율과 정확도가 높음을 보고하였다.^{9,10} 그러나 국내에서는 아직 파스칼 안압계와 관련 된 임상연구가 미흡하다.

이에 저자들은 파스칼 안압계와 골드만 압평안압계의 상관관계에 대해 알아보고, 두 안압계의 중심각막두께에 대한 영향을 알아보고자 하였다.

대상과 방법

2006년 이후 본원에서 경과 관찰 중인 녹내장(135안), 녹내장 의증(14안) 및 고안압증(16안) 환자 83명 165안을 대상으로 후향적 연구를 시행하였으며, 3.5디옵터 이상의 난시가 있거나 외상, 안내 염증의 소견, 각막 질환, 이전의 굴절 교정 수술이 있었던 환자는 대상에서 제외하였다.

모든 대상 환자에게 골드만 압평안압계, 파스칼 안압계, 초음파각막두께측정계 검사에 대한 사전 정보가 주어졌다.

■ 접 수 일: 2008년 7월 4일 ■ 심사통과일: 2008년 9월 11일

■ 통 신 저 자: 노 세 현

부산시 서구 동대신동 3가 1
동아대학교병원 안과
Tel: 051-240-5227, Fax: 051-254-1987
E-mail: shrho@daunet.donga.ac.kr

* 본 논문의 요지는 2006년 대한안과학회 제96회 추계학술대회에서 구연으로 발표되었음.

골드만 압평안압계의 측정은 0.5% Proparacaine으로 점안마취하고, 누액을 형광염색지로 염색한 후 피검자에게 여러 차례 눈깜박임을 유도하고, 두 차례 안압 측정 후 2 mmHg 이상의 차이가나면, 한번 더 측정하여 가까운 두 측정치의 평균값을 기록하였다. 약 30분 후 0.5% Proparacaine으로 다시 점안마취하고, 동일한 검사자에 의해 PASCAL® (Swiss Microtechnology AB, Port, Switzerland)로 3회 연속 안압을 측정하였으며, 이의 평균값을 측정치로 하였다. 파스칼 안압계(dynamic contour tonometry, PASCAL®)의 측정값은 계기판에 Q1 (optimum)부터 Q5 (unacceptable)까지 나타나며, Q4 and Q5 측정치는 제외하였다.

10명의 환자에서는 파스칼 안압계 측정 후 골드만 압평안압계로 재측정 하였다. 이는 골드만 압평안압계 측정 시 각막의 압평으로 인한 파스칼 안압계 측정치의 변화 값을 알아보고자 하였다.

중심각막두께는 초음파각막두께측정계(SP-2000, Tomey, Corp. NAGOYA, MA)를 이용해 점안 마취 후 5회 측정 후, 이의 평균치를 기록하였다. 안압 측정의 편견을 막기 위해 중심각막두께의 측정은 가장 마지막으로 하였다.

통계학적 분석은 SPSS (Statistical software, ver. 10; SPSS Inc., Chicago, IL)를 이용하여 단순회귀분석과 *t*-test를 시행하였다. 파스칼 안압계로 측정한 안압과 골드만 압평안압계로 측정한 안압 사이의 상관관계, 중심각막두께와 두 안압계로 측정한 안압과의 관계, 그리고 두 안압계로 측정한 안압의 차이와의 상관관계를 조사하였고, 모든 경우에 $p < 0.05$ 인 경우를 통계적으로 의미가 있는 것으로 보았다.

결 과

대상은 총 83명, 165안(남자: 39명 78, 여자: 44명 87안)이었고 나이는 32.4 ± 8.3 세였다.

파스칼 안압계로 측정한 안압의 평균은 14.92 ± 2.28 mmHg, 골드만 압평안압계로 측정한 안압의 평균은 13.97 ± 3.12 mmHg로 나타났다. 파스칼 안압계가 골드만 압평안압계보다 평균 0.95 ± 2.49 mmHg 높게 측정되었으며, 중심각막두께는 419 μ m부터 657 μ m의 범위로 측정되었다.

두 안압계의 측정 안압 사이에는 뚜렷한 상관관계를 나타냈다($r=0.733$, $p < 0.001$)(Fig. 1).

중심각막두께에 따른 안압계의 측정안압을 비교한 결과, 골드만 압평안압계로 측정한 안압은 중심각막두께와 유의한 상관관계를 가졌으나($r^2=0.145$, $p < 0.001$)(Fig. 2), 파스칼 안압계로 측정한 안압은 중심각막두께와 유의한 상관관계를 보이지 않았다($r^2=0.012$, $p=0.081$)(Fig. 3). 그리

고 두 안압계로 측정한 안압의 차이(GAT-DCT)는 중심각막두께와 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다($r^2=0.124$, $p < 0.0001$)(Fig. 4).

파스칼 안압계 측정 후 골드만 압평안압계로 재 측정한 10명의 환자에서는 압평으로 인한 안압의 저하는 보이지 않았고, 이는 골드만 압평안압계 측정 시 각막의 압평으로 인한 파스칼 안압계의 측정치에 영향이 없었음을 알 수 있었다(차이, 0.5 mmHg 기준).

고 찰

안압의 측정에 있어서 중심각막의 두께에 대한 영향은 잘 알려진 사실이다.

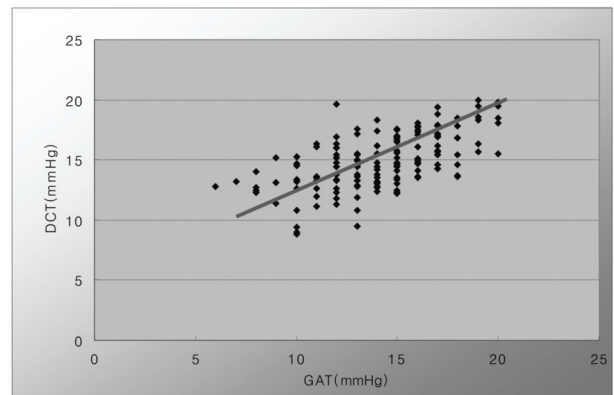


Figure 1. Pearson correlation of intraocular pressure (IOP) measurements obtained by GAT and DCT ($r=0.733$, $p < 0.001$). Plot of IOP measurements with GAT against DCT in patients with CCT showing a good correlation between the two methods. GAT=Goldmann applanation tonometer; DCT=dynamic contour tonometer; CCT=central corneal thickness.

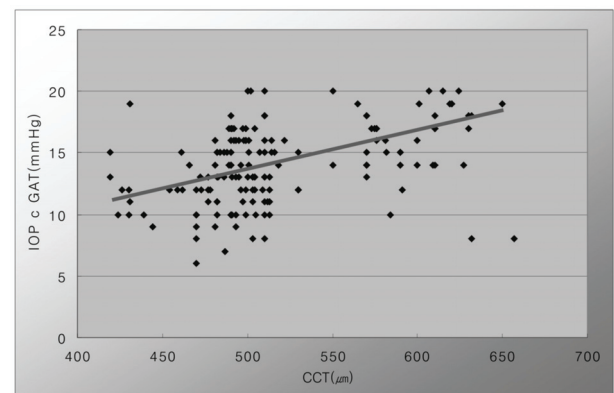


Figure 2. Influence of CCT on IOP measurements. GAT is significantly influenced by CCT ($r^2=0.145$, $p < 0.001$).

골드만 압평안압계는 내부의 압력은 외부에서 가해진 힘을 압평면의 면적으로 나눈 것과 같다는 Imbert-Fick 법칙을 이론적 바탕으로 한 압평안압계로, 비교적 정확한 안압을 측정할 수 있으나 각막의 표면이 정상적이지 못할 때는 정확하지 않을 수도 있으며, 각막의 두께나 형광염색의 농도 등에 영향을 받을 수 있다. 이 중 각막두께가 얇으면 실제 안압보다 낮게 측정되며 각막의 교원질이 증가하여 두꺼워지면 높게 측정된다. 그러나 각막부종으로 인한 이차적인 두께 증가시에는 실제 안압보다 낮게 측정되는 결과를 보인다.

Ehlers et al⁵은 중심각막두께 70 μm 감소할 때, 골드만 압평안압계에 의한 측정안압은 평균 5 mmHg만큼 낮고, 두꺼운 각막에서 안압이 과측정되고 얇은 각막에서는 저측정되는 것을 연구하였다.

파스칼 안압계는 이론적으로 각막의 두께와 같은 특성에 영향을 받지 않으며 각막의 곡률에 최대한 가깝게 고안된 압력센서 팁을 이용해 안압을 측정할 수 있다. 본 연구에서는 골드만 안압계와 파스칼 안압계로 안압을 측정한 후, 중심각막두께에 따른 그 연관성을 통해, 두 안압계를 통한 안압측정의 일치성, 각막의 두께에 대한 독립성에 대해 알아보고자 하였다.

측정방식에 있어서는 검사자의 편견을 피하기 위해 동일한 검사자에 의해 정해진 방식으로 진행하였으며, 안압의 측정에서 아날로그 방식이 검사자의 편견에 가장 예민할 수 있기 때문에 골드만 압평안압계의 측정이 제일 먼저 이루어졌다. 디지털로 표시되는 파스칼 안압계의 측정치는 객관적으로 고려될 수 있어 그 다음으로 검사하였다. 연구에서 골드만 압평안압계로 안압을 측정 후 압평에 의한 파스칼 안압계로 측정된 안압이 거짓으로 낮게 측정될 수 있는 문제점이 발생할 수도 있어 추가적으로, 10명의 환자에서 파스칼 안압측정 후 골드만 안압계로 재측정 하였으나 안압의 하강은 보이지 않음을 알 수 있었다. 중심각막두께의 측정은 두께에 따라 안압측정에 검사자의 편견이 작용할 수 있으므로 마지막에 검사하는 방식을 택하였다.

파스칼 안압계로 측정된 안압의 평균은 14.92 ± 2.28 mmHg, 골드만 압평안압계로 측정된 안압의 평균은 13.97 ± 3.12 mmHg로 나타났으며, 파스칼 안압계가 골드만 압평안압계 보다 평균 0.95 ± 2.49 mmHg 높게 측정되었다. 이는 골드만 압평안압계가 정상군에서 비교적 낮게 측정된다는 여러 논문의 결과와 일치하는 모습을 보이며, 평균적으로 높게 측정된 파스칼 안압계가 실제 안압에 더 가까울 수 있음을 추측할 수 있다.¹¹⁻¹⁵

임상적으로 새로운 파스칼 안압계에서 관심있게 지켜 봐야 하는 것은, 두껍거나 얇은 각막에서 골드만 안압계와 비교해서 어떠한 값을 얻는가이다. 여러 논문에서 골드만 안

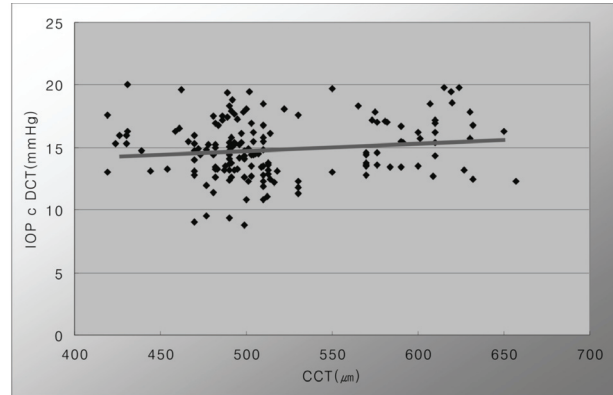


Figure 3. Influence of CCT on IOP measurements. DCT measurements are CCT independent ($p=0.756$).

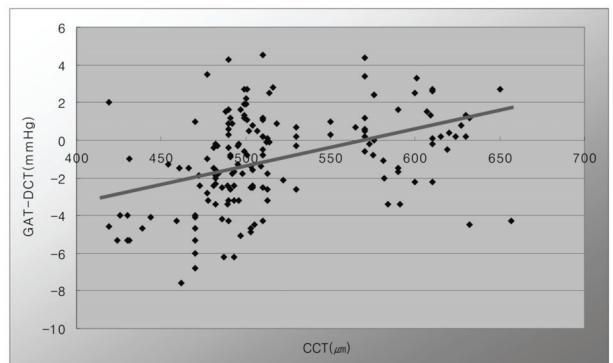


Figure 4. Plot of GAT-DCT difference in IOP against the CCT for all patients showing a tendency to increase the difference between the two measurements for increasingly thinner corneas but not for thick corneas. The difference of IOP between GAT and DCT shows a significant correlation with CCT ($r^2=0.145$, $p<0.001$).

압계가 중심각막두께에 영향을 받는다는 것은 이미 알려진 사실이다.¹⁶⁻¹⁹ 파스칼 안압계로 측정된 안압과 골드만 압평안압계로 측정된 안압 사이에는 뚜렷한 상관관계를 나타냈다(Fig. 1). 이것은 Grieshaber et al²⁰이 개방각녹내장 환자를 대상으로 한 연구에서도 두 안압계가 밀접한 연관성을 가지는 것을 알 수 있으며, 새로운 기법의 파스칼 안압계에서 골드만 압평안압계와의 연관성이 높다는 점은, 주목할만한 것으로 이는 오래전부터 사용되어 오면서 비교적 정확한 안압을 측정할 수 있다고 검증된 골드만 압평안압계와 같이, 안압의 측정에 있어 파스칼 안압계가 임상적으로 바로 적용하여 사용될 수 있다는 의미를 가지게 된다.

중심각막두께와 두 안압계의 안압측정에 대한 관계는 골드만 압평안압계는 중심각막두께에 영향을 받는 것으로 나타났다(Fig. 2), 파스칼 안압계는 영향을 크게 받지 않는

것으로 나타났다(Fig. 3). 이러한 결과는 Francis et al²¹와 Martinez-de-la-Casa et al²²의 연구에서 파스칼 안압계가 골드만 압평안압계보다 중심각막두께에 영향을 크게 받지 않는다는 결과와 일치하는 것을 알 수 있다.

두 안압계로 측정된 안압의 차이는 중심각막 두께가 증가할수록 양의 값을, 중심각막두께가 감소할수록 음의 값을 갖게된다(Fig. 4). 이는 중심각막두께가 두꺼울수록 골드만 압평안압계로 측정된 안압이 증가하게 되어 각막의 두께에 영향을 받지 않는 파스칼 안압계와의 차이가 커지는 것을 의미한다. 반면, 중심각막의 두께가 감소할 때 측정되는 골드만 압평안압계의 값이 실제 안압보다 낮게 측정되어 파스칼 안압계와의 차이가 나는 것을 알 수 있다.

파스칼 안압계의 사용에 있어서의 단점은 안압의 측정이 이전에 고안된 안압계와 비교해 어렵다는 점이다. 정확한 안압의 측정을 위해 골드만 압평안압계와 비교해 센서 팁이 환자의 각막에 적어도 4~5초 정도 접촉해 있어야 하고, 안압을 측정하는 동안 환자가 눈을 움직인다거나 머리를 움직인다면, 정확한 안압의 측정이 이루어질 수 없다. 본 연구에서도 9명의 환자에서 반대편 눈의 주시 실패, 안진, 협조의 부족으로 안압을 측정할 수 없었다. 반면에 골드만 압평안압계는 이러한 어려운 환자에서도 숙련된 검사자에 의해 비슷한 안압을 얻을 수 있었다.

이러한 환자에서는 골드만 압평안압계가 더 우수하다고 볼 수 있지만, 파스칼 안압계는 협조가 잘 되는 환자, 특히 라식을 받은 환자에서와 같이 중심각막두께가 변화된 예에서는 더욱 정확한 안압을 측정할 수 있으리라 생각된다.

또한, 파스칼 안압계는 OPA (Ocular pulse amplitude)를 측정할 수 있어 이완기와 수축기의 안압을 서로 비교 함으로써 맥락막 순환에 있어 혈액 볼륨의 이동과, 압력의 변화에 대한 연구도 가능하게 하였다. 이는 허혈에 의한 시신경의 손상과 시야변화에 대한 연구에 도움이 될 수 있으리라 생각된다.

결론적으로 파스칼 안압계는 측정된 골드만 압평안압계의 안압과 비교했을 때 유의한 상관관계를 가지는 것을 볼 수 있었고, 이는 임상적으로 파스칼 안압계의 적용이 비교적 정확한 안압의 측정이 가능하리라 생각된다. 각막두께에 큰 영향을 받지 않고 비교적 정확한 안압을 측정할 수 있는 파스칼 안압계를 이용해 각막 반흔이 있는 환자나 굴절교정수술로 각막의 두께에 변화가 있는 대상에서 안압 측정 시도는 좋은 연구가 되리라 생각된다.

참고문헌

1) Troost R, Vogel A, Beck S, et al. Clinical comparison of two

intraocular pressure measurement methods: SmartLens dynamic observing tonography versus Goldmann. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol 2001;239:889-92.

2) Whitacre MM, Stein RA, Hassancin K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. Am J Ophthalmol 1993; 115:592-6.

3) Wolfs RCW, Klaver CC, Vingerling JR, et al. Distribution of central corneal thickness and its association with intraocular pressure: the Rotterdam study. Am J Ophthalmol 1997;123:767-72.

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

5) Ehlers N, Bramsen T, Sperling S. Applanation tonometry and central corneal thickness. Acta Ophthalmol (Copenh) 1975;53: 1974-83.

6) Brandt JD, Beiser JA, Kass MA, Gordon MO. Central corneal thickness in the Ocular Hypertension Treatment Study (OHTS). Ophthalmology 2001;108:1779-88.

7) Gordon MO, Beiser JA, Brandt JD, et al. The Ocular Hypertension Treatment study: baseline factors that predict the onset of primary open angle glaucoma. Arch Ophthalmol 2002;120:714-20.

8) Herndon LW, Allingham R, Choudhri SA, et al. Central corneal thickness in normal, glaucomatous, and ocular hypertensive eyes. Arch Ophthalmol 1997;115:1137-41.

9) Siganos DS, Papasterigiou GI, Moedas C. Assessment of the Pascal dynamic contour tonometer in monitoring intraocular pressure in unoperated eyes and eyes after LASIK. J Cataract Refract Surg 2004;30:746-51.

10) Kaufman C, Bachmann LM, Thiel MA. Intraocular pressure measurements using dynamic contour tonometry after laser in situ keratomileusis. Invest Ophthalmol Vis Sci 2003;44:3790-4.

11) Kaufmann C, Bachmann LM, Thiel MA. Comparison of dynamic contour tonometry with Goldmann applanation tonometry. Invest Ophthalmol Vis Sci 2004;45:3118-21.

12) Kniestedt C, Nee M, Stamper RL. Dynamic contour tonometry (DCT) and its dependence on corneal hydration in human cadaver eyes. Arch Ophthalmol 2004;122:1287-93.

13) Wirthlin AC, Siganos DD, Papastergiou G, et al. Dynamic contour tonometry for IOP measurement after LASIK, a comparison with Goldmann tonometry. Synopsis of paper presented at DOC, Nuremberg 2002.

14) Duba I, Wirthlin AC. Dynamic contour tonometry for post-LASIK intraocular pressure measurements. Klin Monatsbl Augenheilkd 2004;221:347-50.

15) Fresco BB. A new tonometer-the pressure phosphene tonometer: clinical comparison with Goldmann tonometry. Ophthalmology 1998;105:2123-6.

16) Whitacre MM, Stein RA, Hassancin K. The effect of corneal thickness on applanation tonometry. Am J Ophthalmol 1993;115:592-6.

17) Stodtmeister R. Applanation tonometry and correlation according to corneal thickness. Acta Ophthalmol Scand 1998;76:319-24.

18) Velten IM, Bergua A, Horn FK, et al. Central corneal thickness in normal eyes, patients with ocular hypertension, normal-pressure and open-angle glaucomas-a study. Klin Monatsbl Augenheilkd 2001;218:466.

19) Ventura AC, Bohnke M, Mojon DS. Central corneal thickness in patients with normal tension glaucoma, primary open angle glaucoma, pseudoexfoliation glaucoma, or ocular hypertension. Br J Ophthalmol 2001;85:792-5.

- 20) Grieshaber MC, Schoetzau A, Zawinka C, et al. Effect of central corneal thickness on dynamic contour tonometry and Goldmann applanation tonometry in primary open-angle glaucoma. Arch Ophthalmol 2007;125:740-4.
- 21) Francis BA, Hsieh A, Lai MY, et al. Los Angeles Latino Eye Study Group. Effects of corneal thickness, corneal curvature, and intraocular pressure level on Goldmann applanation tonometry and dynamic contour tonometry. Ophthalmology 2007;114:20-6.
- 22) Martinez-de-la-Casa JM, Garcia-Feijoo J, Vico E, et al. Effect of corneal thickness on dynamic contour, rebound, and goldmann tonometry. Ophthalmology 2006;113:2156-62.

=ABSTRACT=

Comparison of Dynamic Contour Tonometry and Goldmann Applanation Tonometry

Jang Won Seo, MD, Dong Min Shin, MD, Sae Heun Rho, MD

Department of Ophthalmology, College of Medicine, Dong-A University, Pusan, Korea

Purpose: To compare dynamic contour tonometry (DCT) and Goldmann applanation tonometry (GAT) and investigate the influence of central corneal thickness (CCT) on intraocular pressure.

Methods: In a prospective study of 165 eyes with glaucoma (135 eyes), glaucoma suspect (14 eyes), and ocular hypertension (16 eyes), intraocular pressure was measured with DCT and GAT, and followed by measurement of the CCT with ultrasound pachymetry. Statistical analysis were performed with simple linear regression analysis and t-test using SPSS (Statistical software, ver. 10; SPSS Inc., Chicago, IL).

Results: A clear correlation between DCT and GAT was found ($r=0.733$, $p<0.001$).

The average intraocular pressure was 14.92 ± 2.28 mmHg with DCT and 13.97 ± 3.12 mmHg with GAT, and the intraocular pressure with DCT was 0.95 ± 2.49 mmHg higher than with GAT. A meaningful correlation was shown between GAT and CCT ($r^2=0.145$, $p<0.001$), but was not demonstrated between DCT and CCT ($r^2=0.012$, $p=0.081$). In addition, the difference of intraocular pressure between GAT and DCT (GAT-DCT) showed a significant correlation with CCT ($r^2=0.145$, $p<0.001$).

Conclusions: DCT appears to be a reliable method for intraocular pressure measurement, which is not influenced by CCT, unlike GAT.

J Korean Ophthalmol Soc 2009;50(2):242-246

Key Words: Central corneal thickness, Dynamic contour tonometry.

Address reprint requests to Sae Heun Rho, MD

Department of Ophthalmology, College of Medicine, Dong-A University

#3-1 Dongdaeshin-dong, Seo-gu, Pusan 602-715, Korea

Tel: 82-51-240-5227, Fax: 82-51-254-1987, E-mail: shrho@daunet.donga.ac.kr