

◆특집◆ 인체 물리량 측정 및 표준

안압 측정 및 표준

김민석*, 우삼용**, 이성준**, 박연규**

Tonometry and its Standards

Min-Seok Kim*, Sam-Yong Woo**, Sungjun Lee** and Yon-Kyu Park**

Key Words : Intraocular pressure (안압), Tonometer (안압계), Goldmann applanation tonometer (골드만 압평 안압계), Non-contact tonometer (비접촉식 안압계), Impression tonometer (압입식 안압계)

1. 서론

건강검진을 받아보신 분들은 대부분 시력 측정기처럼 생긴 장비에 얼굴을 갖다 댄 다음 공기가 갑작스레 눈에 분사되는 바람에 깜짝 놀란 경험을 가지고 있을 것이다. 이는 바로 안압을 측정하기 위한 것으로 안압측정은 녹내장 등의 안과질환을 사전에 예방하고 검사하는 데에 기본이 되고 있다.

안압이란 안구의 내압, 안내압이라고도 하며 IOP(intraocular pressure)로 약칭한다. 안압은 정확히 말하면 Fig. 1 의 안구의 단면에 나타내었듯이 전안방(front chamber)에 차여있는 투명한 수용성 체액(혹은 방수)의 압력이며 정상범위는 (10 ~ 21) mmHg, 평균안압은 15 mmHg 정도이다. 방수의 생산과 배출의 균형에 따라서 안압이 결정·유지되며 녹내장이나 백내장 같은 질환이 있을 시 방수의 배출 능력의 저하로 전안방의 압력은 높아지게 된다. 따라서 전안방의 압력을 측정하면 안과질환을 예측할 수 있다. 전안방의 압력을 직접 측정하면 가장 정확한 결과를 얻을 수 있지만 사람 눈을 찌

를 수 없으므로 비침습적으로(또는 간접적으로) 안압을 측정해야 된다.

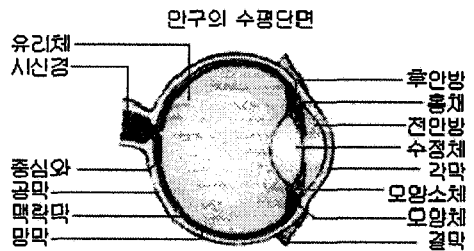


Fig. 1 Cross sectional view of an eyeball

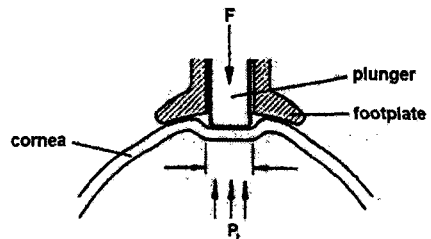


Fig. 2 Principle of impression tonometry

안압을 측정하는 방법은 측정 방식에 따라 크게 3 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 압입식 안압계(impression tonometer)로 1905 년 독일의 안과의사 쉬와츠(Schiffz, 1850 ~ 1927)가 고안하였다. Fig. 2 에서 보듯이 가동간(plunger)을 직접 각막(cornea)에 접촉시킨 후 가동간이 압입된 양(변위)를 측정하

* 한국표준과학연구원 기반표준부 역학그룹
Tel. 042-868-5242, Fax. 042-868-5249
Email minsk@kriss.re.kr
나노힘 표준, 토크표준 및 측정기술, 그리고 인체 역학분야의 표준에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.
** 한국표준과학연구원 기반표준부 역학그룹

면 압입량은 안구 압력과 비례하므로 안압을 간접적으로 측정할 수 있다. 하지만 이런 방식은 안압 측정 시 전안방 내 방수의 이동을 유발하고 공막 탄력도에 의해 쉽게 영향을 받기 때문에 많은 오차를 유발시킨다. 따라서 현재는 잘 쓰이지 않고 있다.

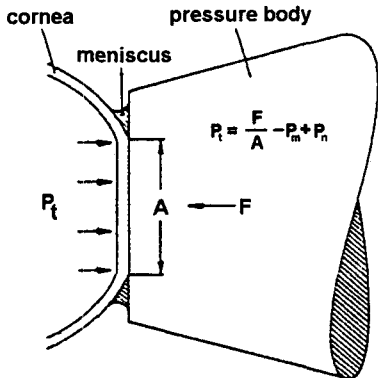


Fig. 3 Principle of applanation tonometry

두 번째는 압평식 안압계(applanation tonometer)로 압입식 안압계의 단점을 보완하고자 1955년 스위스의 안과의사인 골드만(Goldmann)에 의해 고안되었다.¹ 압평식 안압계는 Fig. 3에서 보듯이 압체(pressure body)를 안구에 직접 접촉시켜 각막의 일정 면적(면적경=3.06 mm)을 편평하게 만드는데 필요한 힘을 안압으로 환산하는 방식이다. 면적경이 3.06 mm인 이유는 이 면적일 때, 각막의 강성에 기인한 압력(P_m)과 눈물의 표면장력에 의한 압력(P_n)이 평형을 이루어 오차를 최소화할 수 있기 때문이다. 안구의 변형이 적고 안구에 가하는 힘도 약하기 때문에 공막탄력도에 영향을 거의 받지 않으며 방수의 이동도 없기 때문에 가장 정확한 방식으로 알려져 있다. 하지만 안압측정 시 고도의 숙련도가 요구되고 점안마취를 해야 하며, 각막상태, Fluorescein(접촉 면적의 지름을 3.06 mm로 맞추기 위한 형광액, 측정 전 눈에 도포함)의 농도에 따른 오차, 안구표면 접촉에 따른 전염성 안질환의 전파 등이 단점으로 지적되고 있어 집단 검진을 목적으로 한 사용에는 제한을 받고 있다.²

비접촉식 안압계(NCT, non-contact tonometer)는 1972년 Grolman에 의해 처음으로 개발³되었는데 기본적인 방식은 압평 안압계와 같다. 다만, 안구를 편평하게 하는 것이 딱딱한 압체가 아니라 압축 공기를 이용한다는 점이 다르다. Fig. 4a에 도시

하였듯이 안구는 원형이므로 비스듬하게 놓여있는 광다이오드(D2)에서 방출된 적외선 광은 안구의 표면에서 반사되면 퍼지므로 광검출기(D1)에 들어오는 광량이 작다. 하지만 Fig. 4b에서와 같이 각막의 중앙에 파이프를 통해 공기를 분사하면 각막이 편평해지며 광검출기에 들어오는 광량이 많아진다. 시간이 지나면 각막의 탄성에 의해 다시 원래의 형태로 돌아가게 되며 광량도 다시 줄어들게 된다. 시간에 따른 광량의 변화를 기록하면 Fig. 4c와 같이 펄스 형상처럼 나오며 되며 공기를 분사한 시점과 광량이 최대로 늘어난 시점까지의 시간차를 마이크로 초 단위로 측정하여 mmHg 단위의 안압으로 환산한다.

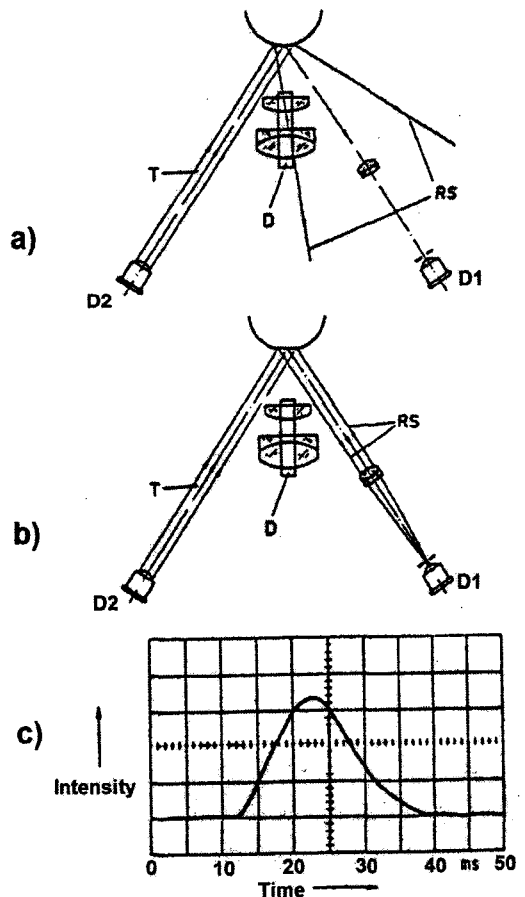


Fig. 4 Principle of non-contact tonometry⁷

비접촉식 안압계는 압평 안압계에 비해 측정시간이 짧고 간편하며, 점안마취가 불필요하고 기계

조작이 간편하기 때문에 비 의료인에 의해서도 측정 가능한 장점이 있다.² 이런 장점으로 인하여 가장 널리 쓰이고 있으며 흔히 건강검진과 같은 집단 검진에서 선별(screening) 용도로 사용한다. 단점으로는 각막표면이 불규칙하거나 주시 광선에 시선을 고정하지 못할 정도로 시력이 나쁜 경우 부정확하며, 안압이 높을 경우 측정값의 신뢰성이 떨어진다는 것이다.

측정의 신뢰성을 높이려면 측정 표준을 확립하고 표준을 이용하여 측정 장비를 교정해야 한다. 실제로, 어느 한 검진센터에서 안압 이상 소견을 받아 다른 병원에서 안압을 측정하였더니 아무 이상이 없다는 진단을 받는 경우가 종종 발생하고 있다. 만약 각 병원이나 검진센터에 보급된 안압계 모두 공통된 표준으로 교정을 받았다면 이런 오류가 일어날 확률은 크게 줄어들 것이다.

본 논문에서는 앞서 언급한 안압계의 측정 신뢰성을 높이기 위한 표준(국제규격, 측정표준)에 대해 소개하며 한국표준과학연구원에서 추진하고 있는 안압 표준의 개요와 계획 등을 언급하고자 한다.

2. 안압 표준

2.1 안압 측정 표준 개요

1970년대부터 안압 표준에 관련된 연구가 시작되었는데 이를 최초로 시작한 국가는 독일이다. 독일, 오스트리아는 1971년부터 임상이나 병원에서 사용하는 모든 안압계를 의무적으로 독일연방물리청(PTB, Physikalisch-Technische Bundesanstalt)에서 검증 받도록 법제화하였다.⁴ 따라서 PTB는 안압 측정 표준을 개발한 최초의 표준연구원이며 ISO, OIML 등 안압계 관련 규격 제정에 주도적인 역할을 하고 있다.

Table 1에서는 PTB에서 안압표준과 관련하여 현재 서비스하고 있는 내용을 정리한 것이다.⁵ 측정 방식에 따라 측정 물리량이 달라지는 것을 알 수 있다. 압입식은 압평식과 비접촉식은 안구의 일정 면적을 평편하게 만드는 힘을 이용하여 안압을 측정하므로 측정 물리량에 ‘힘’과 ‘길이’가 있음을 알 수 있다. 안압계의 종류에 따라 적절한 기기를 개발하거나 또는 기존의 표준을 이용하여 이런 물리량 들을 교정하게 된다. 이렇게 함으로써 안압계들의 측정 결과를 일치시킬 수 있다.

하지만, 이번 호의 논문 “인체물리량 측정 및

표준의 개요”에서 언급하였듯이 안압 표준은 “soft III”로 분류된다. 즉, 단위는 압력인데 직접 사람의 압력을 측정하는 것이 아니므로 압력 표준과의 직접적인 비교를 통한 소급은 불가능하다. 따라서 안압계의 측정에 사용되는 물리량 - 예를 들자면, 비접촉식 안압계의 경우, 힘과 길이- 를 교정하더라도 다수의 사람 눈을 대상으로 임상 비교 측정이 뒷받침 되어야 한다. 또는 간접적으로 동물 눈을 대상으로 검증하는 방법도 있다. 물론 이때는 직접 동물의 눈에 압력 센서를 삽입해 비교하게 된다.

Table 1 Measurement capabilities in PTB⁵

Type	Measurable quantity	Device	Measuring range	Measuring uncertainty
Impression	Mass	Balance	< 20 g	20 mg
	Length	Traveling microscope	< 200 mm	0.002 mm
	Radii	Limit gauge	< 16 mm	0.02 mm
	Slope angle	Slope angle measuring device	< 35 deg	0.5 deg
Applanation	Force	Cross balance	0.1 mN ~ 100 mN	0.10 mN
	Length	Traveling microscope	< 200 mm	0.002 mm
Non-contact	Force	NCT test device	5 mN ~ 30 mN	0.15 mN
	Length	Traveling microscope	< 200 mm	0.002 mm

2.2 접촉식 안압계의 표준

접촉식 안압계(압입식, 압평식)는 오래전부터 표준화의 노력이 진행되어 규격으로 제정되었다. 압평식 안압계에 관련된 규격으로는 ISO 8612가 있으며 번역되어 2001년 KS 규격(KS P ISO 8612)으로도 만들어져 있다. 압입식과 관련된 규격으로는 KS P 1229가 있으며 이 규격에 따르면 측정 항목은 가동간의 움직임, 눈금 교정, 가동간의 유효하중, 추가용 추의 질량이다. 압평식 안압계도 마찬가지로 각종 물리량을 교정하도록 규격에 명시되어 있다. 예를 들면, Fig. 5와 같은 밸런스를 구성한 후, 교정된 분동을 이용하여 압평식 안압계의 힘을 교정한다. 자세한 내용을 알고 싶으면 관

련 규격을 참고하기 바란다. 이 측정항목 들은 전통 표준인 질량, 힘과 길이 표준을 이용하여 교정할 수 있으므로 따로 추가적인 표준은 필요하지 않다. 하지만, 앞서 언급하였듯이 직접 안압과 연관시킬 수 없기 때문에 임상 실험이 필요하다. 이런 임상 실험은 처음 개발자가 유효성을 입증하고 이론을 확립하기 위해 실시하였다. 압입식 안압계는 Friedenwald 가 임상 실험을 통해 결정한 압입량과 IOP 간의 상관관계에 근거하고 있으며⁶ 압평식 안압계도 골드만(Goldmann)이 죽은 사람으로부터 얻은 10 개의 안구로 얻은 임상실험에 근거하고 있다.¹

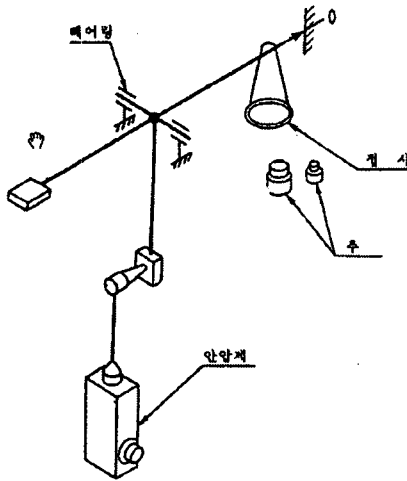


Fig. 5 Cross balance for the force calibration of applanation tonometers

1 절에서 언급하였듯이 현재까지 안과의사 사이에서 골드만 압평 안압계는 가장 정확한 방법(각막 두께를 보정한다면)으로 알려져 있어 임상 실험의 표준, 일명 “Gold standard”로 불린다. 따라서 안압계의 실질적인 측정 표준은 힘과 길이 (또는 면적)을 교정한 골드만 압평 안압계라고 할 수 있다.

2.3 비접촉식 안압계의 표준

PTB 에서는 힘과 길이를 교정한 골드만 압평식 안압계를 이용하여 150 개 이상의 안구를 대상으로 비접촉식 안압계와 임상 비교 실험을 수행하였다.⁷ 따라서 임상 실험을 통해 비교 교정된 비접촉식 안압계가 다른 비접촉식 안압계의 표준이

된다. 비접촉식 안압계의 힘 측정장비인 NCT test device (Table 1, Fig. 6)를 이용하여 표준 비접촉식 안압계의 측정값을 다른 비접촉식 안압계와 비교함으로써 교정할 수 있다. 이런 과정을 통하여 비접촉식 안압계를 안압측정의 “Gold standard”인 골드만 압평 안압계에 소급시킬 수 있다. 따라서 “NCT testing device”는 전달용 표준기 역할을 한다고 볼 수 있다. 안과의사들이 비접촉식 안압계를 구매하면 정확도를 검증하기 위해 통상 골드만 압평 안압계와 임상 비교실험을 수행한다. 하지만 “NCT testing device”를 이용하여 비접촉식 안압계를 교정한다면 이런 절차가 필요 없다. 더욱이 임상 실험이 어려운 건강검진 기관이나 일반 병원에서 유용하며 임상실험에 따른 시간이나 비용을 줄일 수 있을 것이다.

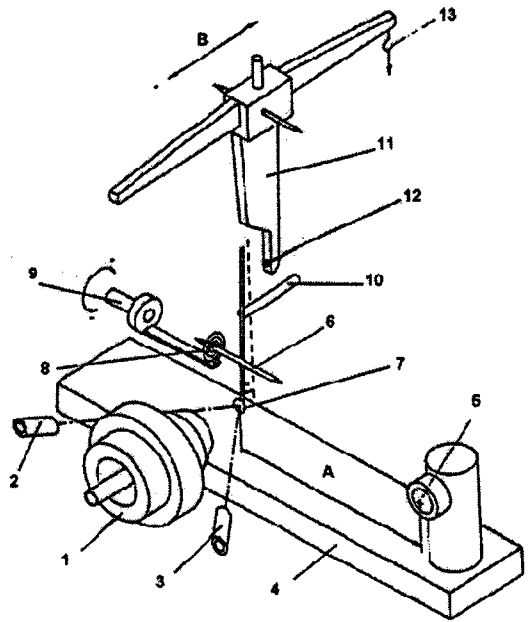


Fig. 6 Torsion balance for the force calibration of non-contact tonometers (NCT testing device)⁷

PTB 에서 개발한 NCT testing device 는 Fig. 6 에 나타내었듯이 일종의 비틀림(torsion)을 이용한 발란스(balance) 이다.⁷ Fig. 6 의 1, 2, 3 번은 각각 비접촉식 안압계의 대물렌즈, 광다이오드, 광검출기를 나타낸 것이다. 대물렌즈 중앙에 위치하는 공기 파이프로부터 펄스가 나오면 직경 2.5 mm 의 평면

미러(7 번)는 지지대(6 번)에 연결된 스프링(8 번)에 의해 회전하게 된다. 회전하면서 광다이오드에서 방출된 빛의 반사각도가 맞아 광검출기로 들어가게 된다. 이는 마치 실제 눈이 압축공기가 분사되기 전에 신호가 없다가 분사된 후에 신호가 발생하는 것과 같아 비접촉식 안압계는 실제 안구를 측정할 때처럼 안압 측정값을 주게 된다. 거울이 비틀리는 힘은 발란스(11 번)에 의해 측정된다. 가운데 십자선이 그려져 있는 인공안구(5 번)은 비접촉식 안압계의 대물렌즈와 평면거울과의 간격을 실제 안압 측정 시 대물렌즈와 안구 사이의 간격과 동일하게 맞추기 위한 것이다. 비접촉식 안압계에는 안구와의 거리를 일정하게 유지하기 위한 광학식 관찰계통이 있어 항상 일정한 힘이 안구에 가해지도록 하고 있다. 따라서 먼저 5 번의 인공안구를 통해 거리를 맞춘 후 A 만큼 수평 이동하여 힘을 측정하게 된다.

NCT testing device 는 정밀하게 힘을 측정할 수 있지만 기기가 정교하여 이동 및 설치하기가 불편하며 숙련된 사람만이 조작할 수 있는 단점이 있다.

3. KRISS 의 안압 표준

KRISS 에서는 가장 정확한 골드만 압평 안압계의 힘과 길이를 교정할 수 있는 시스템을 구축할 예정이다. 교정 시스템은 ISO 또는 KS 규격에 맞추어 제작될 것이며 질량, 힘, 압력, 길이와 같은 물리량은 KRISS 의 측정 표준에 소급성을 갖도록 교정될 것이다.

가장 많이 국내에 보급되어 있는 비접촉식 안압계 표준 확립을 위하여 Fig. 7 과 같은 개념으로 전달용 표준기를 개발하고자 한다. PTB 에서 개발한 NCT testing device 와 달리 일종의 안구 시뮬레이터 개념으로 광택이 있는 실리콘으로 인공 안구의 각막을 구성하고 안구 안에 액체를 삽입하여 방수를 구성한다. 방수 압력을 조절함으로써 다양한 안압을 시뮬레이션 하게 된다. 방수 압력은 교정 받은 압력계로 측정하게 되어 압력 표준과 직접적인 소급성을 유지한다. 물론 골드만 압평 안압계와의 임상 비교 실험을 통해 KRISS 에서 보유하고 있는 비접촉식 안압계를 검증하는 절차가 향후에는 필요하다. 검증된 비접촉식 안압계의 측정값을 개발한 안구 시뮬레이터를 이용하여 다른

비접촉식 안압계로 전달함으로써 (5 ~ 50) mmHg 범위의 안압 표준을 보급하게 된다.

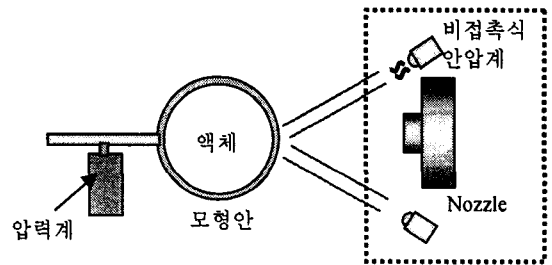


Fig. 7 Schematic of a prototype eye simulator used as a transfer standard for non-contact tonometers

KRISS 안구 시뮬레이터는 PTB 의 NCT testing device 보다 유지 관리가 쉽고 간단하며 압력 표준과 직접 연관 시킬 수 있는 장점이 있어 널리 사용될 수 있을 것으로 기대된다. 보다 근접한 안구 시뮬레이션을 위해 실리콘 막형의 강성은 각막과 비슷해야 하며 실제 눈의 표면에 존재하는 눈물의 효과를 고려해야 하며 이 부분은 향후 지속적으로 연구될 것이다.

4. 맺음말

녹내장 등 안 질환의 중요 진단 지표인 안압을 측정하는 안압계와 그에 따른 표준의 현황에 대해 알아보았다. 접촉식 안압계(압입식, 압평식)는 안압을 측정하기 위한 물리량- 질량, 힘, 압력, 길이- 를 교정함으로써 측정의 신뢰성을 유지할 수 있다. 이런 물리량들은 KRISS 에서 이미 표준을 확립하였으므로 ISO 나 KS 규격에서 제시한 방법대로 안압계 교정 장치를 제작하여 교정한다면 소급성을 유지할 수 있다.

비접촉식 안압계는 임상에서 표준으로 통하는 골드만 압평 안압계와의 임상 비교 실험을 통해 표준을 만들고 안구를 시뮬레이션 할 수 있는 “전달용 표준기”를 이용하여 임상으로 검증된 비접촉식 안압계의 측정값을 다른 비접촉식 안압계로 전달함으로써 표준을 보급할 수 있다.

안압계에 관련된 KS 규격(성문표준)은 오래 전에 제정되어 발효되고 있으나 실질적으로는 외국 안압계 제작사의 제작 및 시험 규격으로 사용되고

있다. 현재 안압계는 제작사의 시험 성적만으로 사용허가가 이루어지고 있으며 사용자에게 판매되고 나면 그 이후로는 관리가 되지 않고 있는데 안압계의 특성상 주기적인 교정이 이루어져야 올바른 안압의 측정이 이루어 질 수 있으므로 독일처럼 교정을 강제화 할 수 있는 법령이 필요하다고 판단된다.

후 기

본 연구는 한국표준과학연구원의 기관고유 사업인 ‘신수요 대응 측정표준 개발’ 사업의 지원을 받아 진행하고 있다.

참고문헌

1. Goldmann, H. and Schmidt, T., “Über applanations tonometrie,” *Ophthalmologica*, Vol. 134, pp. 221 - 242, 1957.
2. Ahn, S. K., Kim, B. H., Cho, H. K. and Shyn K. H., “Comparision between intraocular pressure measured by non-contact tonometer and Goldmann applanation tonometer,” *J. Korean Ophthalmol Soc*, Vol. 35, No. 6, pp. 86-89, 1994.
3. Grolman, B., “A new tonometer system,” *Am J. Ophthalmol*, Vol. 49, pp. 646-651, 1972.
4. Jessen, K. and Altmann, B., “Fundamental aspects of tonometry methods and their standardization,” *Concepts Toxicol.*, Vol. 4, pp. 285-292, 1987.
5. http://www.berlin.ptb.de/8/_indexe.html
6. Friedenwald, J. S., “Calibration of tonometers,” *Decennial report of the Amer. Acad. Ophthal. Otolaryng.*, pp. 93-152, 1953.
7. Jessen, K. and Hoffmann, F., “The current state and its inspection-instances of the standardization of air impulse tonometer: Non-contact tonometer II,” *Klin. Mbl. Augenheik.*, Vol. 183, pp. 296-300, 1983.