

Lemke, Klaus; Plagwitz, Kai-Uwe; Rothe, Ralph:

Augenphantom zur Kalibrierung und Überprüfung von Tonometern

<i>Zuerst erschienen in:</i>	Biomedizinische Technik = Biomedical Engineering. - Berlin [u.a.] : de Gruyter. - 43 (1998), s1, S. 112-113.
<i>Erstveröffentlichung:</i>	1998
<i>Datum Digitalisierung:</i>	23.10.2009
<i>ISSN (online):</i>	1862-278X
<i>ISSN (print):</i>	0013-5585
<i>DOI:</i>	10.1515/bmte.1998.43.s1.112
<i>[Zuletzt gesehen:</i>	31.07.2019]

„Im Rahmen der hochschulweiten Open-Access-Strategie für die Zweitveröffentlichung identifiziert durch die Universitätsbibliothek Ilmenau.“

“Within the academic Open Access Strategy identified for deposition by Ilmenau University Library.”

„Dieser Beitrag ist mit Zustimmung des Rechteinhabers aufgrund einer (DFG-geförderten) Allianz- bzw. Nationallizenz frei zugänglich.“

„This publication is with permission of the rights owner freely accessible due to an Alliance licence and a national licence (funded by the DFG, German Research Foundation) respectively.“



Augenphantom zur Kalibrierung und Überprüfung von Tonometern

Lemke K., Plagwitz K.-U., Rothe R.

Technische Universität Ilmenau, Institut für Biomedizinische Technik und Informatik, PF 100 565, D-98684 Ilmenau

EINLEITUNG

Das Glaukom oder der Grüne Star ist nach Shields und Kriegelstein definiert als „Erkrankungsgruppe, deren gemeinsamer Nenner ein für eine bleibende Funktion des Sehnervenkopfes zu hoher Augeninnendruck“ [1] ist. Die Schädigung des Nervus opticus entwickelt sich schleichend und kann subjektiv lange unbemerkt bleiben. Für die Diagnostik und Therapiekontrolle bei Glaukomerkrankungen ist also die Tonometrie, die indirekte Bestimmung des Augeninnendrucks, auch heute noch, wo die Durchblutungsstörungen im Bereich des Sehnerven als weitere wesentliche Erkrankungsursache in den Mittelpunkt gerückt werden, von entscheidender Bedeutung, denn nur der Augeninnendruck ist therapeutisch zugänglich und gestattet bei ca. 4/5 der Patienten die Diagnostizierung eines Risikos ehe ein Schaden eingetreten ist.

Zur Bestimmung des Augeninnendrucks (IOP) wird der Augapfel - insbesondere die Kornea - durch eine bekannte konstante oder zeitabhängige Kraft elastisch verformt und aus der Stärke der Verformung (Applanation, Impression) auf den Augeninnendruck geschlossen. Die Beziehung zwischen Augeninnendruck und Verformung (Größe der applanierten Fläche, Eindringtiefe) bzw. der verformenden Kraft ist nicht ausreichend bekannt und kann nur durch klinische Vergleichsuntersuchungen des zu prüfenden Gerätes mit einem Standardgerät oder -verfahren ermittelt werden. Diese klinischen Vergleichsuntersuchungen sind neben der physikalisch-meßtechnischen Prüfung Bestandteil der Bauartzulassung durch die Physikalisch-Technische Bundesanstalt. Augentonometer unterliegen in Deutschland der gesetzlichen Eichpflicht. Die Eichvorschriften und auch die Tonometerprüfeinrichtungen werden durch die PTB ausgearbeitet bzw. entwickelt. Bei der Eichung werden der einwirkende Druck und eine Reihe von Geräteparametern gemessen. Eine adäquate Kalibrierung würde aber ein Augenphantom erfordern, das wesentliche geometrische und elastische Eigenschaften der Kornea nachbildet und dessen Innendruck sich reproduzierbar einstellen läßt. Von Nutzen wäre ein solches Augenphantom auch als Meßobjekt für die Methoden- und Geräteentwicklung sowie die Funktionskontrolle und Übertragung von Kalibrierkurven bei der Fabrikation.

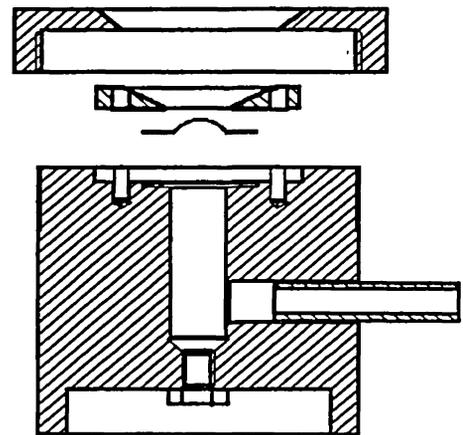


Abb. 1: Konstruktiver Aufbau

AUFBAU DES AUGENPHANTOMS UND HERSTELLUNG DER KALOTTEN

Das Augenphantom stellt eine zylinderförmige Trägerkammer dar, die an der Stirnseite durch eine vorgeformte Kunststoffkalotte flüssigkeitsdicht verschlossen ist. Die Trägerkammer besitzt weitere Bohrungen für die Erzeugung und Messung des Innendrucks sowie zur Entlüftung. Die Kunststoffkalotte, die den gleichen Krümmungsradius und Durchmesser wie die Kornea im Mittel aufweist, wird auf einer sphärisch geformten Auflage mit dem entsprechenden Gegenstück als gegen Verdrehung gesicherter Druckring mit Hilfe einer Überwurfmutter oder auch direkt durch Verschraubung mit der Trägerkammer fixiert. Eine bessere spannungsfreie Fixierung wurde mit Kalotten erzielt, die einen hutkrempeartigen Rand zur Einspannung zwischen ebener Auflage und Druckring besaßen (Abb. 1). Kernstück der Apparatur ist die Kalotte. Nach Angaben in der Literatur ist die Kornea sehr nachgiebig; der Schermodul beträgt etwa 50 bis 100 kPa und nimmt mit dem post-mortem-Intervall ab [2]. Auswahlkriterien für das Kalottenmaterial waren deshalb geringer Schermodul und gute Verarbeitbarkeit. Es wurden deshalb formbeständige additionsvernetzende Silikone, die einen niedrigen Schermodul aufweisen, verwendet. 20 Silikone für

medizinische Anwendung und 6 für technischen Einsatz unterschiedlicher Konsistenz wurden untersucht. Für eine Reihe dünnfließender Silikone wurde der Schermodul mit Hilfe der dynamischen-mechanischen Spektroskopie am Institut für dynamische Materialprüfung an der Universität Ulm bestimmt; die Werte lagen zwischen 340 und 620 kPa. Die Ausgangsmaterialien wurden in vom Hersteller angegebenen Verhältnis gemischt und bei ausreichender Verarbeitungszeit auch mit Unterdruck entgast. Für die Formung der Kalotten wurde ein Spindelpresse entwickelt. Zur Herstellung unterschiedlicher Dicken stehen Spindeln, an den Kugeln mit unterschiedlichen Radien befestigt sind, zur Verfügung. Als Gegenlager dient ein Glasblock, in den eine halbkugelförmige Vertiefung eingeschliffen ist. Zur Gewährleistung einer sehr guten Oberflächenqualität wurde der Block poliert. Die mittlere Rauigkeit der Kalotten betrug $0,12 \mu\text{m}$. Das optische Reflektionsvermögen von 3 % entsprach dem der Kornea.

ERPROBUNG UND DISKUSSION

Zur Überprüfung der Eignung der verschiedenen Materialien wurden die daraus gefertigten Kalotten auf der Trägerkammer befestigt und mit verschiedenen Tonometern Messungen am Augenphantom über einen Innendruckbereich von 0 – 50 mm Hg durchgeführt. Die Einstellung des Innendrucks erfolgte über eine Wassersäule. Zwei unterschiedliche Tonometertypen fanden Verwendung: das Luftimpulstonometer TOPCON CT 20D und das Applanationstonometer Ocuton S der Fa. EPSa. Für drei verschiedene Kalottenstärken (0,25; 0,20; 0,15 mm) erfolgten Vergleichsmessungen zwischen dem im Augenphantom eingestellten Innendruck und der Tonometeranzeige. Für den Druckbereich 10 – 40 mm Hg wurden die Regressionsgeraden: $\text{Anzeige} = a + b \cdot \text{Innendruck}$ berechnet. Für die niederviskosen Materialien gilt

TOPCON CT 20D:

Dicke	Regressionsparameter	
0,15 mm	$-5,8 \leq a \leq -1,8$	$0,54 \leq b \leq 0,76$
0,20 mm	$-0,4 \leq a \leq 2,2$	$0,62 \leq b \leq 0,76$
0,25 mm	$0,6 \leq a \leq 8,5$	$0,63 \leq b \leq 0,78$

Ocuton S:

Dicke	Regressionsparameter	
0,15 mm	$0,28 \leq a \leq 15,6$	$1,04 \leq b \leq 1,22$
0,20 mm	$13,5 \leq a \leq 21,8$	$1,04 \leq b \leq 1,32$
0,25 mm	$14,7 \leq a \leq 38,6$	$0,97 \leq b \leq 1,51$

Man erhält lineare Abhängigkeiten; die Streuung der Meßwerte liegt unter 2,5 mm Hg. Mit zunehmender Dicke vergrößert sich der Achsenabschnitt a während der Anstieg b nahezu konstant bleibt. Die Absolutwerte unterscheiden sich jedoch für die beiden

Tonomertypen. Diese Unterschiede sind bedingt durch die unterschiedlichen Funktionsprinzipien. Beim TOPCON CT 20D wird die Kornea durch einen Luftimpuls über etwa 50 ms kurzzeitig verformt, beim Ocuton S dagegen wird die Kornea durch Berührung mit dem Meßprisma über etwa 2 s abgeplattet. Diese Untersuchungen zeigen, daß die Entwicklung eines Augenphantoms für die Funktionskontrolle und Überprüfung der Kalibrierung von Tonometern möglich ist. Für jeden Tonomertyp, wahrscheinlich auch für jede Bauart ist aber ein speziell angepaßtes Augenphantom erforderlich.

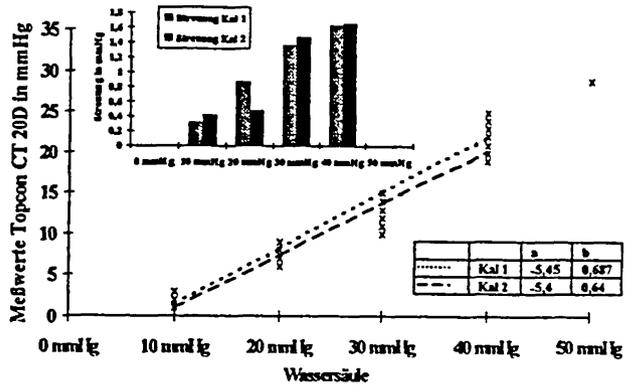


Abb. 2: Vergleich TOPCON CT 20D - Augenphantom

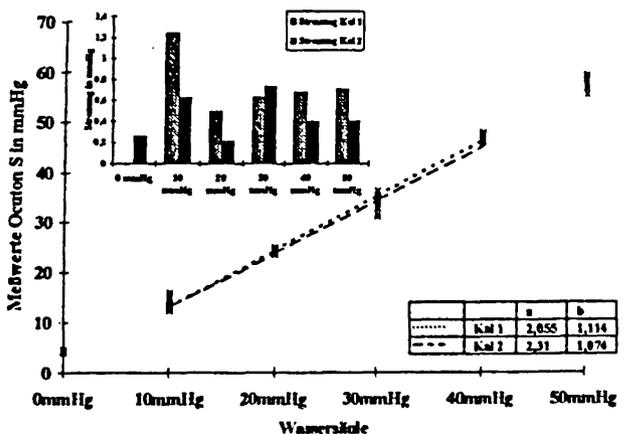


Abb. 3: Vergleich Ocuton S - Augenphantom

LITERATUR

- [1] Shields, M.B.; Krieglstein, G.K.: Glaukom, Grundlagen, Differentialdiagnose. Therapie. Springer Verlag, Heidelberg 1993
- [2] Soergel, F.: Biomechanische Charakterisierung der menschlichen Augenhornhaut mit dynamisch-mechanischer Spektroskopie. Dissertation 1994, Universität Ulm

Diese Arbeiten wurden vom Thüringer Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kultur gefördert.