

SICHT.KONTAKTE 2023

Korneale Biomechanik bei Keratokonus – Screening, Follow-up und Therapiebeurteilung

Dr. Robert Herber, Universitäts-Augenklinik Dresden

Die Untersuchung der kornealen Biomechanik spielt in der refraktiven Chirurgie, aber auch beim Management des Keratokonus eine wichtige Rolle. Es wird davon ausgegangen, dass biomechanischen Veränderungen vor den topografischen und tomografischen Veränderungen auftreten und deshalb wichtige Zusatzinformationen in Fällen liefert, bei denen die Topografie und Tomografie noch normal sind. Eine frühzeitige Erkennung einer möglichen Ektasie bzw. eines Keratokonus verhindert z.B. iatrogene Keratektasien nach laser-chirurgischen Eingriffen oder einen Sehverlust durch ein Voranschreiten des Keratokonus.

Die biomechanischen Eigenschaften können experimentell mit Hilfe von z.B. Spannungs-Dehnungsmessungen untersucht werden. Das zugrundeliegende Prinzip ist, dass eine Kraft auf eine Probe (z.B. Hornhautstreifen) ausgeübt wird und diese dann im Verhältnis zur verursachten Dehnung ausgewertet wird. Aufgrund der Hornhauteigenschaften, wie Anisotropie, Nicht-Linearität und Visko-Elastizität, kann kein einheitliches Elastizitätsmodul bestimmt werden, sondern dies ist vielmehr eine Funktion der Dehnung.

Die Non-kontakt Tonometrie ist ein Verfahren, welches einen Luftimpuls auf die Hornhaut appliziert. Dieser Luftimpuls kann als Krafteinwirkung gesehen werden. Die daraus resultierende Deformation der Hornhaut ist abhängig von ihren biomechanischen Eigenschaften, die dann mittels bestimmter Parameter gemessen werden kann. Es gibt zwei kommerziell erhältliche Geräte: Ocular Response Analyzer (ORA; Reichert Ocular Instruments, Depew, NY, USA) und Corvis ST (Oculus, Wetzlar, Germany). Beide Geräte arbeiten mit einem Luftimpuls, unterscheiden sich jedoch in der Art der Detektion der Parameter. Während das ORA vorrangig visko-elastische Eigenschaften der Hornhaut misst (korneale Hysterese), kann das Corvis ST auch elastische Eigenschaften, also die Steifigkeit der Hornhaut messen.

Für die Messung am Auge haben IOD und Hornhautdicke einen wesentlichen Einfluss auf das biomechanische Verhalten der Hornhaut. Eine dickere Hornhaut weist demnach einen höheren Widerstand (geringere Werte für DAR2, IIR sowie höhere Werte für SP A1) gegenüber dem Luftimpuls auf als eine dünnere Hornhaut. Ebenso verhält es sich mit dem Augeninnendruck. Wenn dieser erhöht ist, fällt die Deformation geringer aus im Vergleich zu einem Auge mit einem geringeren IOD, vorausgesetzt die Steifigkeit der Hornhäute sind

identisch. In den klinischen Untersuchungen kann zudem das Alter als weiterer Einflussfaktoren auf die biomechanischen Parameter beobachtet werden.

Studienergebnisse haben gezeigt, dass eine Differenzierung zwischen gesunden Augen und Augen mit Keratokonus am besten mit dem Corvis Biomechanical Index (CBI) möglich ist, einem Kombinationsparameter einzelner biomechanischer Parameter des Corvis ST. Ebenso zeigten die Parameter DAR2, IIR und SP A1 eine höhere Sensitivität und Spezifität im Vergleich zur kornealen Hysterese des ORA. Je höher der Schweregrad des Keratokonus, desto stärker ausgeprägt zeigen sich die Parameter. Der CBI ist ebenfalls sehr effektiv in der Erkennung von frühen Ektasien, bei denen die Topografie und/oder Tomografie noch normal sind.

In experimentellen Versuchen am Schweineauge konnte ein Zusammenhang zwischen Spannungs-Dehnungsmessung und Änderungen in den Corvis ST Parameter vor und nach Hornhautvernetzung (CXL) gezeigt werden. Indizien für die Zunahme der Hornhautfestigkeit sind einerseits ein höher gemessener IOD trotz konstant induziertem IOD im Schweineauge und andererseits ein geringerer Wert für IIR sowie ein höherer Wert für SPA1. Auch in klinischen Untersuchungen werden diese Beobachtungen gemacht, auch wenn sich der Effekt weniger stark zeigt. Dennoch kann ebenfalls eine Zunahme des bIOP und SSI sowie eine Abnahme des IIR beobachtet werden, wobei diese einen Monat postoperativ am stärksten ausgeprägt sind.

Zusammenfassend bietet das Corvis ST hilfreiche Informationen über die biomechanischen Eigenschaften der Hornhaut. Dies ist insbesondere im Vorfeld refraktiv-chirurgischer Eingriffe und zur Beurteilung des Keratokonus wichtig. Zudem können Effekte des CXL nachgewiesen werden.

Parameter	Abkürzung	Beschreibung
CH [mmHg]	CH	korneale Hysterese
CRF [mmHg]	CRF	kornealer Resistenzfaktor
DA Ratio Max (2mm) [mm]	DAR2	Verhältnis der zentralen zur peripheren Deformation (bei ± 2mm) der Hornhaut
Integrated Radius [mm ⁻¹]	IIR	Integrierter inverser Radius zwischen 1. und 2. Applanation
SP A1 [mmHg/mm]	SPA1	Steifigkeitsparameter der 1. Applanation
CBI	CBI	Corvis Biomechanical Index
SSI	SSI	Stress-strain index

Literatur

- Herber R, Terai N, Pillunat KR, Raiskup F, Pillunat LE, Spörl E. Dynamischer Scheimpflug-Analyzer (Corvis ST) zur Bestimmung kornealer biomechanischer Parameter : Ein praxisbezogener Überblick [Dynamic Scheimpflug Analyzer (Corvis ST) for measurement of corneal biomechanical parameters : A praxis-related overview]. *Ophthalmologe*. 2018 Aug;115(8):635-643. German. doi: 10.1007/s00347-018-0716-y. PMID: 29767348.
- Roberts CJ. Concepts and misconceptions in corneal biomechanics. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jun;40(6):862-9. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.04.019. PMID: 24857435.
- Roberts CJ, Dupps WJ Jr. Biomechanics of corneal ectasia and biomechanical treatments. *J Cataract Refract Surg*. 2014 Jun;40(6):991-8. doi: 10.1016/j.jcrs.2014.04.013. Epub 2014 Apr 26. PMID: 24774009; PMCID: PMC4850839.
- Herber R, Ramm L, Spoerl E, Raiskup F, Pillunat LE, Terai N. Assessment of corneal biomechanical parameters in healthy and keratoconic eyes using dynamic bidirectional applanation device and dynamic Scheimpflug analyzer. *J Cataract Refract Surg*. 2019 Jun;45(6):778-788. doi: 10.1016/j.jcrs.2018.12.015. Epub 2019 Mar 20. PMID: 30902432.
- Herber R, Francis M, Spoerl E, Pillunat LE, Raiskup F, Sinha Roy A. Comparison of waveform-derived corneal stiffness and stress-strain extensometry-derived corneal stiffness using different cross-linking irradiances: an experimental study with air-puff applanation of ex vivo porcine eyes. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2020 Oct;258(10):2173-2184. doi: 10.1007/s00417-020-04792-8. Epub 2020 Jun 17. PMID: 32556637; PMCID: PMC7550374.
- Herber R, Hasanli A, Lenk J, Vinciguerra R, Terai N, Pillunat LE, Raiskup F. Evaluation of Corneal Biomechanical Indices in Distinguishing Between Normal, Very Asymmetric, and Bilateral Keratoconic Eyes. *J Refract Surg*. 2022 Jun;38(6):364-372. doi: 10.3928/1081597X-20220601-01. Epub 2022 Jun 1. PMID: 35686712.
- Herber R, Francis M, Spoerl E, Pillunat LE, Raiskup F, Roy AS. Evaluation of Biomechanical Changes After Accelerated Cross-Linking in Progressive Keratoconus: A Prospective Follow-Up Study. *Cornea*. 2023 Jan 20. doi: 10.1097/ICO.0000000000003219. Epub ahead of print. PMID: 36727878.