Mögliche thermische Endothelschädigungen während der Phakoemulsifikation

S. Buschschlüter[1], J. von Eicken[2], C. Werschnik[3], R. Schlüter[4], C. Koch[1], H. Höh[2], F. Wilhelm[3]

[1] *Physikalisch-Technische Bundesanstalt, 38116 Braunschweig, Deutschland, Email: ultrasonics@ptb.de*

[2] *Klinik für Augenheilkunde, 17036 Neubrandenburg, Deutschland, Email: AUG@dbknb.de*

[3] *HELIOS-Kliniken Schwerin, 19049 Schwerin, Deutschland, Email: augenklinik.schwerin@helios-kliniken.de*

[4] *Ernst-Moritz-Arndt-Universität, 17487 Greifswald, Deutschland, Email: rabea.schlueter@uni-greifswald.de*

Einleitung

Mit geschätzten 800.000 Eingriffen pro Jahr in Deutschland stellt die Phakoemulsifikation die Standardmethode in der Kataraktchirurgie dar [1]. Die getrübte Augenlinse wird mit Ultraschall einer Frequenz von $35 - 45\,kHz$ innerhalb der vorderen Augenkammer fragmentiert, über einen Saug-Spül-Mechanismus vollständig entfernt und durch eine Intraokularlinse ersetzt. Die Phakoemulsifikation zeichnet sich dabei durch eine sehr geringe Komplikationsrate und eine starke Verbesserung der postoperativen Sehschärfe aus.

Allerdings treten durch die Operation verursachte Endothelschäden auf, deren genaue Ursachen bisher nicht geklärt sind [2]. Als potentielle Schadensquellen kommen mechanische Belastungen oder oxidativer Stress der Zellen in Frage [3]. Zudem könnten die Absorption von Ultraschall und Reibungseffekte zu einer kritischen Temperatursteigerung führen. Der gepulste Betrieb ermöglicht dabei eine Absenkung des Leistungseintrages in das Auge bei vergleichbarer Fragmentierungseffektivität.

Anhand von Temperaturmessungen in der vorderen Augenkammer kann die thermische Belastung der Zellen abgeschätzt und der Effekt des gepulsten Betriebs untersucht werden. Aufnahmen der Endothelzellen mittels Raster-Elektronen-Mikroskopie ermöglichen weiter eine Bewertung des Zellschadens und die Prüfung auf eine mögliche Korrelation.

Maximale Temperatursteigerung im Auge bei ungepulstem Betrieb

Zunächst sollten Experimente mit Schweineaugen Aufschluss geben über die Temperatursteigerungen im ungepulsten Betrieb. Hierfür wurde die Phakoemulsifikationsnadel in die Vorderkammer eingeführt und parallel zur Irisebene im Zentrum positioniert. Die dreimalige $5\,s$-lange Betätigung von Ultraschall (Geräteeinstellung 50 %), unterbrochen jeweils von einer Pause von $5\,s$, simulierte operationsähnliche Bedingungen. Irrigation und Aspiration liefen dabei auch während der Ultraschall-Pausen. Die Durchflussmenge an Wasser betrug $20\,\frac{ml}{min}$ und der Ansaugdruck $150\,mmHg$. Bei jeder Messung wurde die Temperaturentwicklung mit bis zu drei Thermoelementen aufgezeichnet. Diese haben einen Außendurchmesser von $d = 0,7\,mm$ und befanden sich in einem Abstand von $0,5 - 4,7\,mm$ zur Phakoemulsifikationsnadel an verschiedenen Positionen innerhalb der Vorderkammer.

Abb. 1 zeigt die Häufigkeits-Verteilung der gemessenen maximalen Temperatursteigerung ΔT bei den Experimenten an Schweineaugen. Für die 153 durchgeführten Messungen folgt ein Medianwert von

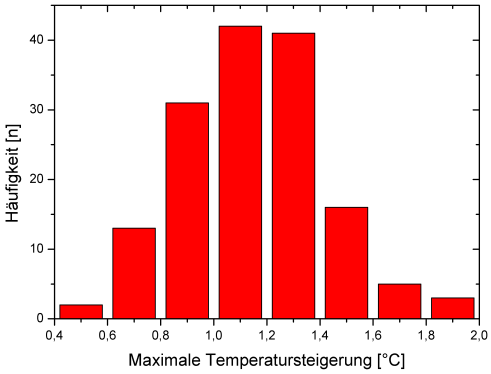

Abbildung 1: Häufigkeit einer maximalen Temperatursteigerung ΔT in $°C$ bei einer Gesamtheit von 153 Einzelmessungen an Schweineaugen.

$$\Delta T_{Median} = 1,15\,°C$$

Die höchste gemessene Temperaturerhöhung betrug $\Delta T_{max} = 1,90\,°C$.

Vergleich zwischen gepulstem und ungepulstem Betrieb

Die Auswirkung des gepulsten Betriebes auf den Temperaturverlauf wurde an drei Positionen innerhalb der Vorderkammer untersucht. Bei sonst gleichem Versuchsablauf wurde bei 40 % Ultraschall-Leistung und in einem Abstand von $2,1 - 3,4\,mm$ zur Phakoemulsifiakationsnadel die Temperatur aufgezeichnet. Die Durchflussmenge betrug hier allerdings $15\,\frac{ml}{min}$ und der Ansaugdruck $100\,mmHg$. Im gepulsten Betrieb wird vom Gerät während der $5\,s$-langen Betätigung die Ultraschallapplikation mit einer Frequenz von $40\,Hz$ unterbrochen. Insgesamt halbiert sich damit die in das Auge eingetragene Ultraschall-Leistung. Die Wirkung auf den Temperaturverlauf zeigt Abb. 2. Über alle drei untersuchten Positionen gemittelt, ergab sich ohne Puls eine maximale Erwärmung von $\Delta T = (1,29 \pm 0,55)\,°C$ und im gepulsten Betrieb $\Delta T = (0,57 \pm 0,35)\,°C$. Die maximale Temperatursteigerung sank damit um 55 %.

Bewertung des Zellschadens

Die Auswirkung des gepulsten Betriebes auf den zu beobachteten Zellschaden wurde an 8 weiteren Augen unter-

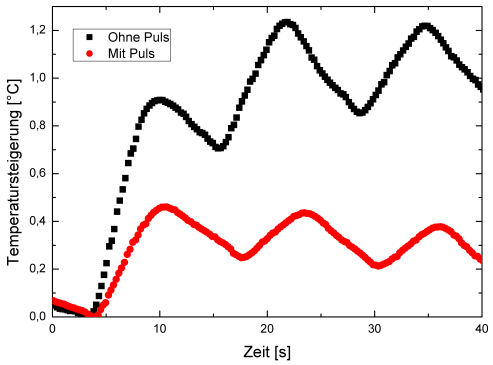

Abbildung 2: Vergleich des Temperaturverlaufes in einem Abstand von $3,2\,mm$ zur Phakoemulsifikationsnadel.

sucht. Nachdem die Phakoemulsifikationnadel dreimal $5\,s$ Ultraschall abgegeben hatte wurden die Hornhäute entfernt, mit Glutaraldehyd fixiert und präpariert [4]. Mit Hilfe eines Raster-Elektronen-Mikroskops (REM) wurden in 500-facher bzw. 3000-facher Vergrößerung Bilder der Endothelzellen aufgenommen und dann der Zustand der Zellen anhand von 4 Kriterien nach einem Score von Kinzel [5] bewertet (s. Abb. 3):

- Größe sowie Verteilung der Mikrovilli
- Gleichmäßigkeit der Zelloberfläche
- Interdigitationen der Zellen
- Größenvarianz der Zellen und deren Muster.

Jedes Kriterium wird mit zunehmendem Zellschaden mit weniger Punkten $(3-0)$ bewertet, womit eine Gesamtpunktzahl von $0-12$ Punkten möglich ist.

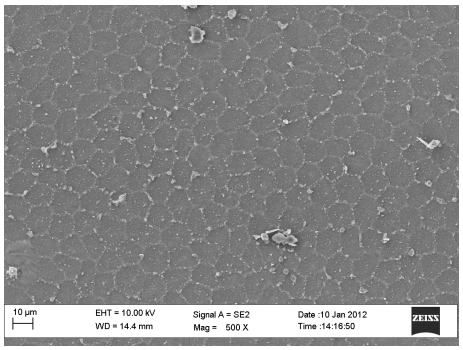

Abbildung 3: REM-Aufnahme von Endothelzellen des Kontrollauges ohne Behandlung bei 500-facher Vergrößerung.

Die 8 untersuchten Augen wurden in drei Gruppen eingeteilt. 4 Augen wurden mit Puls behandelt, drei ohne Puls und an einem Auge wurde keine Behandlung durchgeführt (Kontrolle). Die Ergebnisse der REM-Untersuchungen zeigt Abb. 4. Die Endothelzellen der mit gepulstem Betrieb behandelten Augen erhielten im Mittel eine Bewertung von $(8,75 \pm 0,5)$ Punkten, die mit ungepulstem Ultraschall behandelten Zellen $(7,33 \pm 1,53)$ Punkte und die Kontrolle 12 Punkte.

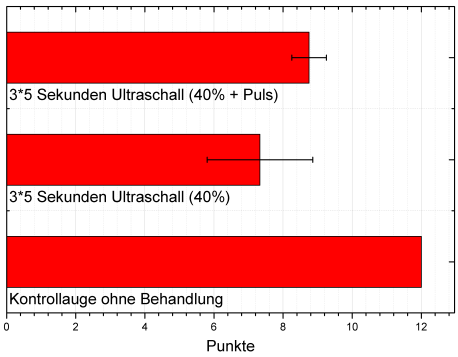

Abbildung 4: Punktebewertung der drei unterschiedlichen Versuchsabläufe.

Diskussion

Als eine mögliche Ursache für die nach einer Phakoemulsifikation zu beobachtenden Endothelschäden wird eine schädliche Erwärmung der Zellen genannt. Für eine realistische Beurteilung dieser Gefahr sind Temperaturmessungen unter Operationsbedingungen unerlässlich. Durch Thermoelemente mit geringem Außendurchmesser konnten diese in Schweineaugen umgesetzt werden. Dabei zeigte sich, dass die Temperatursteigerungen unter praxisnahen Bedingungen weniger als $2\,°C$ betragen. Bei gepulstem Betrieb verringerte sich die maximale Temperaturerhöhung um $55\,\%$ und REM-Aufnahmen zeigten einen geringeren Zellschaden.
Festzuhalten bleibt, dass trotz der gemessenen moderaten Temperatursteigerungen ein Zellschaden zu beobachten ist. Ebenfalls als Schadensursache kommen allerdings weiterhin z. B. Kavitation oder die mechanische Belastung aufgrund der Versuchsdurchführung in Frage. Weitere Messungen zur Klärung dieses Sachverhaltes sind daher zwingend erforderlich, wobei eine Separation der möglichen Schadensquellen wünschenswert wäre.

Literatur

[1] Wenzel, M.; Pham, D.-T.; Scharrer, A.; Schayan-Araghi, K.; Klasen, J.: Ambulante Intraokularchirurgie: Ergebnisse der Umfrage 2008 von BDOC, BVA und der DGII–Rückblick über die letzten 20 Jahre

[2] Ventura, A.; Wälti, R.; Böhnke, M.: Corneal thickness and endothelial density before and after cataract surgery. *Br J Ophthalmol*, 2001, *85*, 18

[3] Takahashi, H.: Free radical development in phacoemulsification cataract surgery. *J Nippon Med Sch*, 2005, *72*, 4-12

[4] Hirsch, J.G.; Fedorko, M.E.: Ultrastructure of human leukocytes after simultaneous fixation with glutaraldehyde and osmium tetroxide andpostfixationïn uranyl. *J Cell Biol*, 1968, *38*, 615-627

[5] Kinzel, R.: Die postmortalen Veränderungen des Schweinehornhautendothels in Abhängigkeit von der Zeit. *Dissertation*, 2008, Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald