

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, ob eine Kataraktoperation zu Veränderungen der Physiologie der Sauerstoffversorgung des vorderen Augenabschnittes führt. Mit Hilfe sauerstoffsensitiver Elektroden wurde im Rahmen von Kataraktoperationen und Nachstarabsaugungen an aphaken und pseudophaken Augen der Sauerstoffpartialdruck in der Vorderkammer gemessen. Wir fanden in der Vorderkammer aphaker Augen und in Augen mit Kunstlinsen niedrigere Sauerstoffwerte als in linsenhaltigen Augen. Als Ursache kommen eine verringerte Barriere zwischen Kammerwasser und Glaskörper oder atrophische Veränderungen an den Irisgefäßen nach Kataraktoperation in Betracht. Die veränderte Physiologie des Sauerstoffs in der Vorderkammer nach Kataraktoperation könnte klinisch eine Rolle bei Augen mit ischämischen Grunderkrankungen spielen.

Schlüsselwörter

Sauerstoff – Vorderkammer – Kataraktoperation

Sauerstoff in der Vorderkammer vor und nach Kataraktoperation*

H. Helbig, W. Noske, U. Kellner und M. H. Foerster
Augenlinik, Universitätsklinikum Benjamin Franklin, Freie Universität Berlin

Die Operation des grauen Stars ist eine der häufigsten, ältesten und sichersten Operationen in der Medizin. Mit modernen Operationstechniken sind die Augen postoperativ kaum gereizt und vertragen die implantierte Kunstlinse meistens ausgezeichnet. Dennoch bleibt ein Eingriff wie die Entfernung der Linse nicht ohne Veränderung für die Physiologie des Auges. Das zystoide Makulaödem nach Kataraktoperation [3] ist ein Beispiel für die klinische Relevanz dieser Veränderungen. Eine diabetische Retinopathie kann sich nach Kataraktoperation verschlechtern [9] oder es kann sich eine Rubeosis an der Iris entwickeln [1].

In der vorliegenden Arbeit haben wir den Einfluß der Kataraktoperation auf die Sauerstoffversorgung des vorderen Augenabschnittes untersucht. Dazu wurden intraoperativ Messungen des Sauerstoffpartialdrucks (pO_2) in der Vorderkammer des Auges an linsenhaltigen Augen im Rahmen einer Kataraktoperation und an aphaken und pseudophaken Augen im Rahmen von Nachstarabsaugungen durchgeführt.

Methode

Messungen des pO_2 wurden mit dem O_2 -Histographen (Eppendorf, Hamburg) durchge-

führt. Die Methode wurde kürzlich ausführlich beschrieben [5, 6]. Benutzt wurde eine Platinelektrode, die mit einer sauerstoffdurchlässigen Kunststoffschicht überzogen ist. Die Elektrode wurde in eine Kanüle mit 320 μm Durchmesser plaziert. Die Eichung der Elektrode erfolgte vor jeder Messung in steriler Pufferlösung, begast mit steriler Raumluft und reinem Stickstoff.

Die Messungen in der Vorderkammer erfolgten im Rahmen von 10 Kataraktoperationen und 7 Nachstarabsaugungen, davon 4 an Augen mit sulcusfixierter Hinterkammerlinse und 3 an aphaken Augen mit regenerativem Nachstar. Die Patienten wurden ausführlich über die pO_2 -Messungen aufgeklärt und ihr Einverständnis wurde schriftlich dokumentiert. Zur präoperativen Erweiterung der Pupille wurden Scopolamin und Tropicamid-Augentropfen appliziert. Auf die Gabe von Sympathomimetika wurde wegen deren Effekt auf den pO_2 in der Vorderkammer [5, 14, 19] verzichtet.

Die Operationen wurden in retrobulbärer Anästhesie durchgeführt, die Patienten atmeten dabei Raumluft. Die Messungen wurden am Beginn der Operation durchgeführt, um Artefakte durch die Spüllösungen zu vermeiden. Dabei wurde die Meßsonde durch eine Parazentese am Limbus in die Vorderkammer eingeführt und die Spitze der Sonde im gegenüberliegenden Kammerwinkel vor dem Pupillarsaum und vor der Pupillenmitte gehalten, bis eine stabile Messung erreicht wurde.

Ergebnisse

Von den 10 Kataraktpatienten waren 2 Männer und 8 Frauen, die 3 aphaken und 4 pseudophaken Patienten waren weiblich. Die Pupillenweite betrug bei den Patienten mit Katarakt $6,4 \pm 0,8$ mm, bei den pseudophaken $5,3 \pm$

* Vortrag gehalten auf der 92. Tagung der Deutschen Ophthalmologischen Gesellschaft

Dr. H. Helbig, Augenlinik, Universitätsklinikum Benjamin Franklin, Freie Universität, Hindenburgdamm 30, D-12200 Berlin

Ophthalmologe (1995) 92:325–328 © Springer-Verlag 1995

Oxygen in the anterior chamber before and after cataract operation

H. Hellig, W. Noske, U. Kellner and M. H. Foerster

Summary

The purpose of the study was to investigate whether removal of the lens would change the physiology of oxygen supply to the anterior segment of the eye. Oxygen partial pressure in the anterior chamber was measured using oxygen-sensitive electrodes during cataract surgery or removal of after-cataracts in aphacic and pseudophacic eyes. We found significantly reduced oxygen tension in the anterior chamber of aphacic or pseudophacic eyes compared to catarac-

tous eyes. These results could be explained either by a reduced barrier between aqueous humor and vitreous or by atrophic changes of the iris vasculature after cataract surgery. These changes in oxygen supply to the anterior chamber after cataract surgery could be clinically relevant in eyes with ischemic diseases.

Key words

Oxygen – Anterior chamber – Cataract surgery

Der Sauerstoffpartialdruck in 10 Augen mit Katarakt betrug 45 ± 10 (Mittelwerte \pm SD, in mmHg) im Kammerwinkel, 33 ± 11 vor dem Pupillarsaum und 13 ± 7 vor der Pupillenmitte. Die Mittelwerte von 4 Patienten mit IOL und Nachstar waren 19 ± 11 im Kammerwinkel, 17 ± 9 vor dem Pupillarsaum und 13 ± 8 vor der Pupillenmitte, und bei 3 aphaken Patienten mit Nachstar 19 ± 8 im Kammerwinkel, 16 ± 7 vor dem Pupillarsaum und 14 ± 5 vor der Pupillenmitte (Abb. 1, 2).

Diskussion

Die Versorgung des vorderen Augenabschnitts mit Sauerstoff erfolgt über 2 unabhängige Quellen: die präkorneale Luft und das Blutgefäßsystem. Messungen des pO_2 in den verschiedenen Schichten der Hornhaut zeigten vom Epithel zum Endothel zunächst abnehmende Sauerstoffwerte, in Endothelnähe dann konstant niedrige Werte und beim Eintritt in die Vorderkammer erneut einen Anstieg [11]. Das bedeutet, daß die äußeren Hornhautschichten über die präkorneale Luft, die inneren Hornhautschichten über das Kammerwasser mit Sauerstoff versorgt werden. Das Kammerwasser seinerseits wird über die Gefäße der Irisvorderfläche mit Sauerstoff gesättigt. Der pO_2 in der Vorderkammer ändert sich mit dem pO_2 in der Atemluft [8], und man findet vor der gefäßhaltigen Iris höhere pO_2 -Werte als über der Pupille [5, 7]. Vasokonstriktive Medikamente führen über eine Verengung der Irisgefäße zu einem Abfall des pO_2 im Kammerwasser [5, 14, 19]. Wird der präkorneale pO_2 erhöht, ändern sich die Diffusionsgradienten, und der pO_2 steigt in der Vorderkammer, bei vitrektomierten, aphaken Augen sogar präretinal [10, 22]. Umgekehrt, mit erniedrigtem präkornealem pO_2 oder beim Tragen Sauerstoff-undurchlässiger Kontaktlinsen, fällt der pO_2 in der Hornhaut, O_2 aus dem Kammerwasser diffundiert vermehrt in die Hornhaut und der pO_2 in der Vorderkammer sinkt [17, 20]. Bei Versuchstieren mit kleinen Augen und dünner Hornhaut (z.B. Ratten) ist die Situation anders, hier stellt die Hornhaut ein geringeres Diffusionshindernis für den Sauerstoff aus der Luft dar und die Bedeutung der Iris-

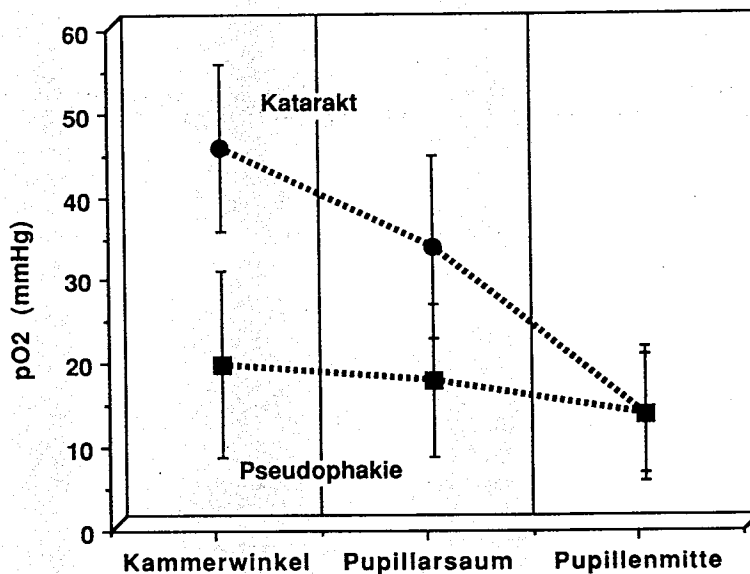


Abb. 1. Mittelwerte \pm Standardabweichung des Sauerstoffpartialdrucks an verschiedenen Positionen in der Vorderkammer von 10 Augen mit Katarakt und 4 Augen mit Nachstar und sulcusfixierter Hinterkammerlinse. Signifikanzniveau des Unterschieds zwischen den 2 Gruppen (Student's-t-Test): Kammerwinkel: $p < 0,01$; Pupillarsaum: $p < 0,05$; Pupillenmitte: n.s.

0,5 mm und bei den aphaken Patienten $7,8 \pm 0,8$ mm. Das Alter lag bei den Patienten mit Katarakt zwischen 68 und 88 ($78,4 \pm 6,5$) Jahren, bei den pseudophaken Patienten zwischen 53 und 78 ($68,2 \pm 11,2$) Jahren und bei den aphaken Patienten zwischen 32 und 72

($54,3 \pm 24,8$) Jahren. Bei den Nachstarpatienten lagen 1–4 Jahre zwischen Kataraktoperation und Nachstarabsaugung. Wir beobachteten keinen Zusammenhang zwischen pO_2 und Alter oder Pupillenweite in den 3 Gruppen.

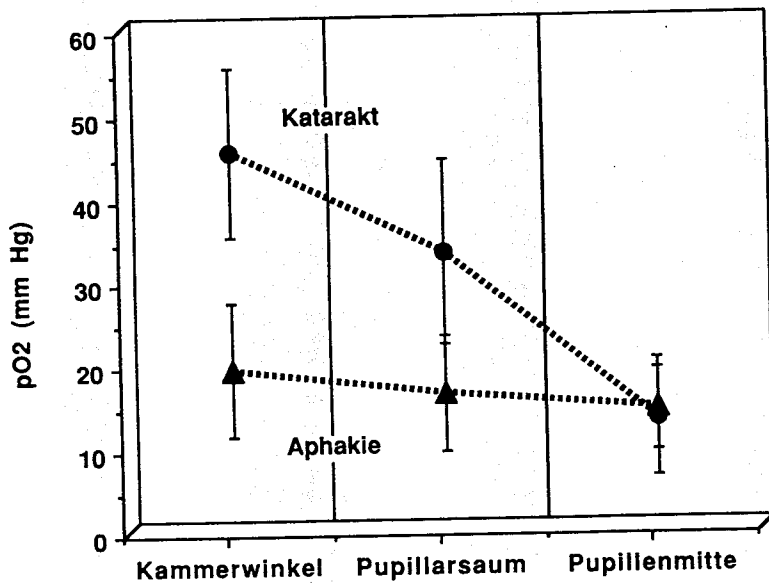


Abb. 2. Mittelwerte \pm Standardabweichung des Sauerstoffpartialdrucks an verschiedenen Positionen in der Vorderkammer von 10 Augen mit Katarakt und 3 Augen mit Nachstar und Aphakie. Signifikanzniveau des Unterschieds zwischen den 2 Gruppen (Student's-t-Test): Kammerwinkel: $p < 0,01$; Pupillarsaum: $p < 0,05$; Pupillenmitte: n.s.

gefäÙe für die Sauerstoffsättigung des Kammerwassers ist gering [21].

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen einen niedrigeren Sauerstoffpartialdruck in der Vorderkammer nach Kataraktoperation. Stefansson et al. [18] fanden im Tierexperiment eine ähnliche Reduktion des pO_2 in der Vorderkammer nach Lentektomie und Vitrektomie. Da die Linse selbst Sauerstoff verbraucht [4], würde man nach ihrer Entfernung eigentlich einen Anstieg des pO_2 erwarten. Der wichtigste Mechanismus zur Erklärung der beobachteten Phänomene ist wahrscheinlich, daß die Linse als Barriere zwischen Vorderkammer und Glaskörper entfernt wird. Da der pO_2 im Glaskörper niedriger als in der Vorderkammer ist, kann nach Entfernen der Linse der Sauerstoff leichter nach hinten gelangen, sowohl durch Diffusion als auch durch Flüssigkeitsbewegungen des Kammerwassers in den Glaskörperraum. Eine andere Erklärungsmöglichkeit bieten die Veränderungen an der Iris nach Kataraktoperationen. Sorgfältige klinische und pathologische Untersuchungen fanden atrophische Veränderungen an der Iris nach Kataraktoperation [2, 12]. Auch fluoreszenzangiographische Studien beschrieben nach Kataraktoperation

atrophische Veränderungen an den IrisgefäÙen [15]. Diese GefäÙatrophie an der Iris nach Kataraktoperation könnte, ähnlich wie beim Pseudoexfoliationssyndrom [6], zu einer verminderten Sättigung des Kammerwassers mit Sauerstoff an der Iris führen. Möglicherweise spielt auch die Veränderung des Kammerwasservolumens nach Entfernung der Katarakt eine Rolle. Wenn ein erhöhtes Volumen zu sättigen ist, wird der pO_2 im Kammerwasser insgesamt niedriger liegen. Der größere Abstand der MeÙsonde von der Hornhaut an aphaken Augen mit tieferer Vorderkammer spielt wahrscheinlich keine wesentliche Rolle, da die größten Unterschiede im Kammerwinkel beobachtet wurden, wo der Abstand der Sonde zur Hornhaut an phaken und aphaken Augen annähernd gleich gewesen sein dürfte. Ob in der Pupillenmitte wirklich keine Unterschiede im pO_2 unter den verschiedenen Untersuchungsbedingungen (Abb. 1, 2) bestehen, können wir wegen der großen Streuung der Werte nach unseren Befunden nicht beantworten.

Die von uns untersuchten Patienten sind sicher nicht repräsentativ für Patienten nach Kataraktoperation, da sie alle einen Nachstar hatten. Denkbar wäre, daß nicht die Kataraktoperation

zu einem verminderten pO_2 in der Vorderkammer führt, sondern Patienten mit einem niedrigen pO_2 hätten eine besondere Disposition, einen Nachstar zu entwickeln. In der Tat wirkt Sauerstoff wachstumshemmend auf kultivierte Linsenepithelzellen [13]. Allerdings fanden Stefansson et al. [18] im Tierexperiment nach Lentektomie und Vitrektomie an Augen ohne Nachstar eine ähnliche Reduktion des Sauerstoffpartialdrucks in der Vorderkammer. Daher kann aus unseren Ergebnissen nicht auf einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Vorderkammerhypoxie und Entwicklung eines Nachstars geschlossen werden.

Die beschriebenen Veränderungen im pO_2 in der Vorderkammer nach Kataraktoperation haben in den meisten Fällen sicher keine wesentliche pathologische Bedeutung, da nach Kataraktoperation über Jahrzehnte komplikationslose Verläufe die Regel sind. Dennoch kann man sich vorstellen, daß die Veränderung in der Physiologie der Sauerstoffversorgung in gewissen Situationen auch klinisch relevant werden kann, insbesondere an Augen, die schon präoperativ minderversorgt sind. Ein Beispiel ist die Entwicklung einer Rubeosis iridis nach Kataraktoperation bei Diabetikern. Möglicherweise kann der Abfall des pO_2 in der Vorderkammer nach Kataraktoperation zu einer verstärkten vasoproliferativen Aktivität an der Iris beitragen [16, 18] und damit zur Entwicklung einer Rubeosis mit neovaskulärem Glaukom.

Literatur

1. Aiello LM, Wand M, Liang G (1983) Neovascular glaucoma and vitreous haemorrhage following cataract surgery in patients with diabetes mellitus. *Ophthalmology* 90:814-818
2. Champion R, McDonnell PJ, Green WR (1985) Intraocular lenses. Histopathologic changes of a large series of autopsy eyes. *Surv Ophthalmol* 30:1-32
3. Gass JDM, Norton EWD (1966) Cystoid macular edema and papilledema following cataract extraction: A fluorescein funduscopic and angiographic study. *Arch Ophthalmol* 76:646-661
4. Hans W, Hockwin O, Kleinfeld O (1955) Die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches der Linse auf polarographischem Wege. *Albrecht v Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 157:72-84

5. Helbig H, Hinz JP, Kellner U, Foerster MH (1993) Oxygen in the anterior chamber of the human eye. *German J Ophthalmol* 2:161-164
6. Helbig H, Schlötzer-Schrehardt U, Noske W, Kellner U, Foerster MH, Naumann GOH (1994) Anterior chamber hypoxia and iris vasculopathy in pseudoexfoliation syndrome. *German J Ophthalmol* 3:148-153
7. Höper J, Zagorski Z, Rohen JW (1989) Oxygen delivery to the anterior chamber of the eye - A novel function of the anterior iris surface. *Curr Eye Res* 8: 649-659
8. Jacobi KW (1968) Sauerstoffpartialdruckmessungen im Kammerwasser bei Beatmung mit verschiedenen Gasgemischen. *Albrecht v Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 174:321-325
9. Jaffe GJ, Burton TC, Kuhn E, Prescott A, Hartz A (1992) Progression of non-proliferative diabetic retinopathy and visual outcome after extracapsular cataract extraction and intraocular lens implantation. *Am J Ophthalmol* 114:448-456
10. Jampol LM, Orlin C, Cohen SB, Zanetti C, Lehmann E, Goldberg MF (1988) Hyperbaric and transcorneal delivery of oxygen to the rabbit and monkey anterior segment. *Arch Ophthalmol* 106: 825-829
11. Kwan M, Niinikowski J, Hunt TK (1972) In vivo measurements of oxygen tension in the cornea, aqueous humor, and anterior lens of the open eye. *Invest Ophthalmol* 11:108-114
12. Naeser K, Nielsen NE, Hansen TE (1990) Morphological changes 2.5 years after extracapsular cataract extraction with implantation of a posterior chamber lens. A prospective re-examination. *Acta Ophthalmol (Copenh)* 68:259-264
13. Padgaonkar V, Giblin FJ, Reddan JR, Dziedzic DC (1993) Hyperbaric oxygen inhibits the growth of cultured rabbit lens epithelial cells without affecting glutathione level. *Exp Eye Res* 56: 443-452
14. Pakalnis VA, Wolbarsht ML, Landers MB (1988) Phenylephrine-induced anterior chamber hypoxia. *Ann Ophthalmol* 20:267-270
15. Raitta C, Knape B (1971) Das prä- and postoperative Fluoresceinangiogramm der Iris bei Cataracta senilis. *Albrecht v Graefes Arch Klin Exp Ophthalmol* 182:282-290
16. Stefansson E (1990) Oxygen and diabetic eye disease. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol* 228:120-123
17. Stefansson E, Foulks GN, Hamilton RC (1987) The effect of corneal contact lenses on the oxygen tension in the anterior chamber of the rabbit eye. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 28:1716-1719
18. Stefansson E, Landers MB, Wolbarsht ML (1982) Vitrectomy, lensectomy, and ocular oxygenation. *Retina* 2: 159-166
19. Stefansson E, Robinson D, Wolbarsht ML, Landers MB, Walsh A (1983) Effect of epinephrine on pO₂ in the anterior chamber. *Arch Ophthalmol* 101: 636-639
20. Stefansson E, Wolbarsht ML, Landers M (1983) The corneal contact lens and aqueous humor hypoxia in cats. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 24:1052-1054
21. Swedberg SH, Livesey JC (1993) Aqueous humor oxygen tension measurements in rats. *Invest Ophthalmol Vis Sci [Suppl]* 34:757
22. Wilson AW, Benner JD, Berkowitz BA, Chapman CB, Peshock RM (1994) Transcorneal oxygenation of the pre-retinal vitreous. *Arch Ophthalmol* 112: 839-845