

## Erforschung des Akkommodationsmechanismus

M. Baumeister<sup>1,2</sup>

A. Glasser<sup>2</sup>

T. Kohnen<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Johann Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt/ Main

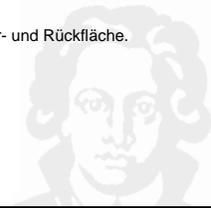
<sup>2</sup>College of Optometry, University of Houston, TX, USA

<sup>3</sup>Baylor College of Medicine, Houston, TX, USA

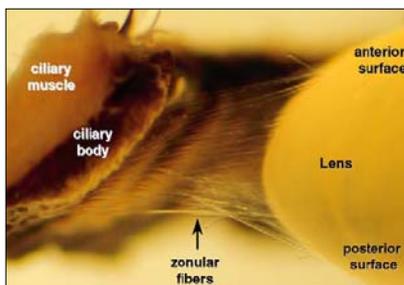


## Akkommodation

- Zunahme der Brechkraft des Auges, um in verschiedenen Entfernungen scharf zu sehen.
- Diese Änderung wird verursacht durch eine Brechkraftzunahme der Linse mittels
  - Abnahme des Linsendurchmessers,
  - Zunahme der Linsendicke und
  - Zunahme der Krümmung der Linsenvorder- und Rückfläche.
- Akkommodationstrias:
  - Akkommodation
  - Konvergenz
  - Pupillenverengung



## Anatomie des Akkommodationsapparats



Glasser A. Accommodation: mechanism and measurement. *Ophthalmol Clin N Am* 2006;19:1-12.

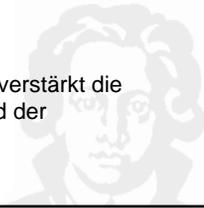
## Theorien der Akkommodation

- 1677: Descartes
  - Akkommodation als Folge einer Formveränderung der Linse.
- Frühes 19. Jh.: Cramer
  - Kraftübertragung vom Ziliarmuskel zur Linse über Iris und Glaskörper (Zonula nicht berücksichtigt).



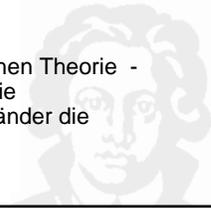
## Theorien der Akkommodation

- 1855: Helmholtz
  - Rolle der Zonula bei der Kraftübertragung vom entspannten Ziliarmuskel zur Linse.
- 1895: Tscherning
  - Kontraktion des Ziliarmuskels verstärkt die Spannung der Zonula während der Akkommodation.



## Theorien der Akkommodation

- 1909: Gullstrand
  - Elastizität der Choroidea als Antagonist zur Funktion des Ziliarmuskels.
- 1932: Pflugk
  - Modifikation der Tschernig'schen Theorie - der Glaskörper übt Kraft auf die Linsenperipherie aus und verändert die vordere Linsenkrümmung.



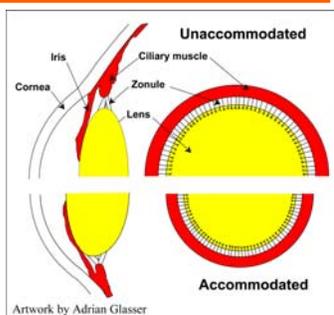
## Theorien der Akkommodation

- 1937: Fincham
  - Akkommodation aufgrund der Elastizität der **Linsenkapsel**.
- 1970: Coleman
  - "hydraulic suspension theory" – Glaskörper modelliert die Form der Linsenrückfläche in eine Kettenlinie.

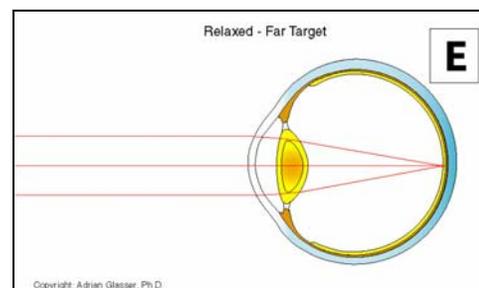
## Theorien der Akkommodation

- 1992: Schachar:
  - Akkommodation verstärkt die äquatoriale Spannung der Zonula
  - Zunahme des Linsenäquators
  - Steht im **Widerspruch** sowohl zu Tierexperimentellen als auch humanen in vivo-Studien

## Mechanismus der Akkommodation nach Helmholtz



## Optik der Akkommodation



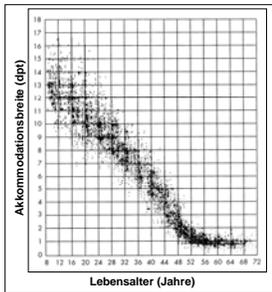
## Direkte Untersuchung des Akkommodationsapparats

- Fallberichte
  - Fincham, 1937; (Aniridie/Spaltlampe)
  - Wilson, 1997; (Albino/ IR-Retroillumination)
  - Baikoff et al., 2004; (Albino; OCT)
- Studien
  - Strenk et al., 1999,2004,2006; (MRT)

## Presbyopie

- Stellt beim Menschen die häufigste Sehbeeinträchtigung dar, der ausnahmslos alle Menschen unterliegen, die das entsprechende Alter erreichen.
- Die Abnahme der Akkommodationsbreite beginnt im Alter von 10 bis 12 Jahren und endet mit einem nahezu kompletten Verlust der Akkommodationsfähigkeit mit 50 bis 55 Jahren.

## Entwicklung der Presbyopie mit dem Lebensalter

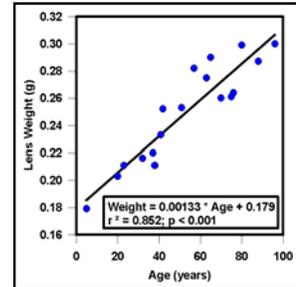


Duane A. Normal values of the accommodation at all ages. *J Am Med Assoc* 1912;59:1010.

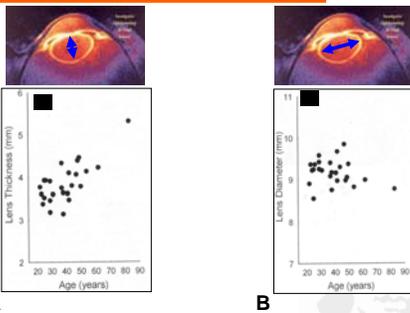
## Wachstum der Linse

Die menschliche Linse wächst während des ganzen Lebens. Dies trägt wahrscheinlich zur Presbyopieentwicklung bei.

Glasser & Campbell (1999) *Vision Research*, 39, 1991-2015.

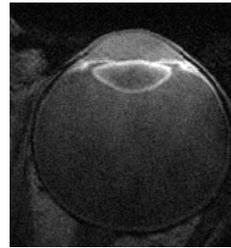


## Wachstum der menschlichen Linse

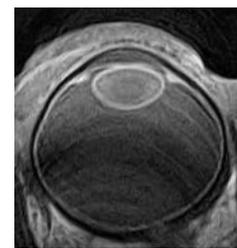


Strenk et al (1999), *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 40, 1162-1169.

## Jung vs. Alt

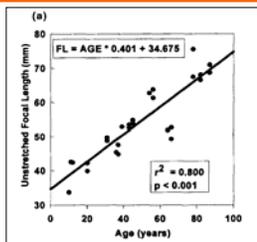


26 Jahre



83 Jahre

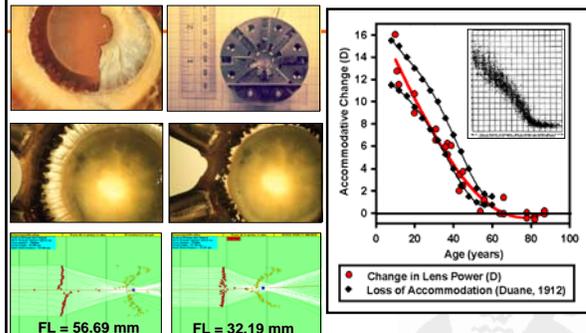
## Änderung der Linsenbrennweite mit dem Lebensalter



- Die Fähigkeit der Linse zur Verformung und zur Änderung ihrer Brechkraft nimmt mit dem Alter linear ab.

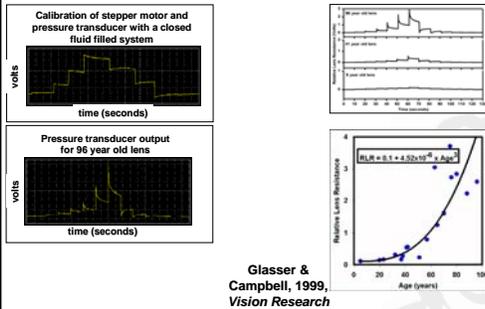
(Glasser A, Campbell MC. Presbyopia and the optical changes in the human crystalline lens with age. *Vision Res* 1998;38:209-229.)

## Mechanische Dehnung von menschlichen Linsen

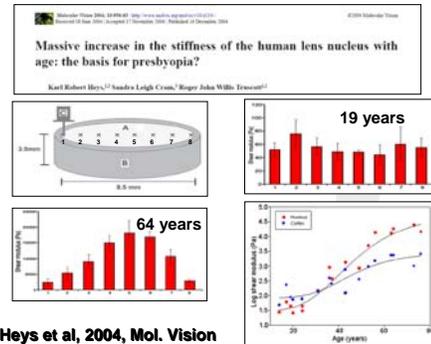


Glasser & Campbell, *Vision Research*, 1998

## Verhärtung der Linse mit zunehmendem Alter



## Zunahme der Steifheit des Linsenkerns

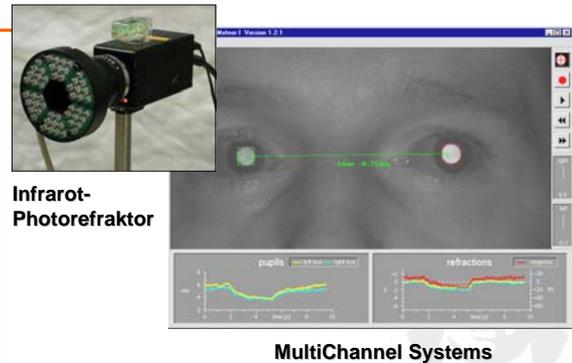


## Subjektive und objektive Messung der Akkommodation

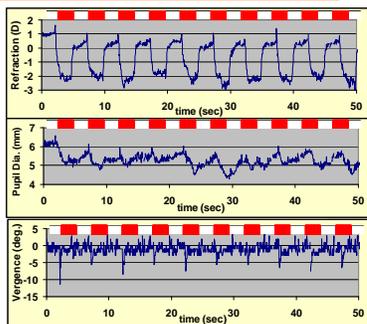
- Subjektiv:
  - Annäherung von Optotypen bis zum Verschwimmen des Seheindrucks
  - Vorschalten von Minuslinsen bis zum Verschwimmen des Seheindrucks
- Objektiv:
  - Refraktometrie
  - Messung anderer physiologischer Parameter, die mit der Akkommodation korreliert sind (Linsendicke, Linsenkrümmung, Vorderkammertiefe)



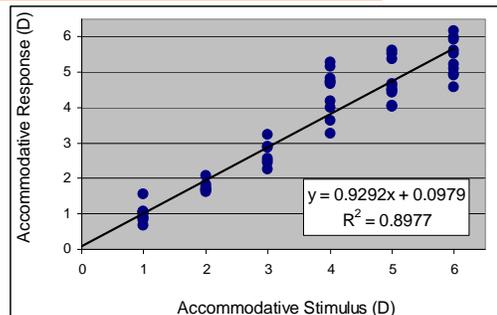
## Dynamische Messung



## Untersuchungsergebnis

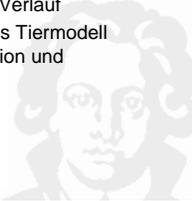


## Reiz/Antwort-Funktion



## Experimentelle Untersuchungen in vivo

- Ein dem menschlichen Auge vergleichbarer Akkommodationsapparat findet sich nur bei Primaten.
- Die Entwicklung der Presbyopie hat beim Rhesusaffen im Verhältnis zum erreichbaren Lebensalter einen ähnlichen zeitlichen Verlauf
- Daher ist der Rhesusaffe ein geeignetes Tiermodell für die Untersuchung von Akkommodation und Presbyopie.



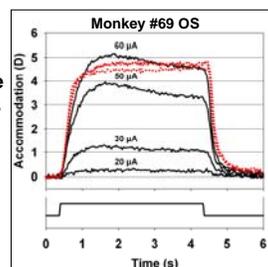
## Zentral stimulierte Akkommodation

- Elektrode im Nucleus Edinger-Westphal beim anästhesierten Rhesusaffen
- Akkommodation ohne visuelle Rückkopplung, Kontrolle der Akkommodationsantwort nur durch den definierten elektrischen Reiz im Mittelhirn
- Erforschung der Biomechanik des Akkommodationsapparats und dessen altersbedingter Veränderungen



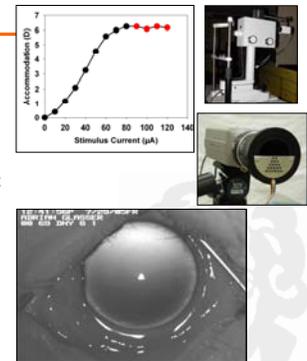
## EW-Stimulation

- Anstieg der Akkommodationsamplitude mit ansteigendem Stimulus



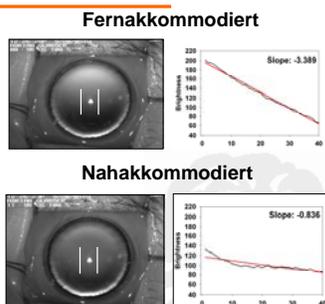
## Infrarot-Photorefraktion

- Reiz/Antwort-Kurve mit Hartinger-Refraktometer
- Infrarot-Photorefraktion mit videographischer Aufzeichnung der Akkommodationsantwort



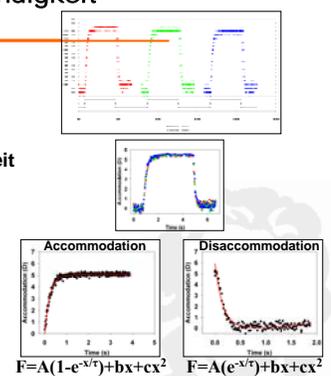
## Infrarot-Photorefraktion

- Vertikales Helligkeitsprofil im Zentrum der iridektomierten Pupille für jedes Einzelbild
- Anpassung einer linearen Regression und Bestimmung der Steigung



## Maximalgeschwindigkeit

- Anpassung einer Exponentialfunktion
- Bestimmung der Maximalgeschwindigkeit aus der Ableitung





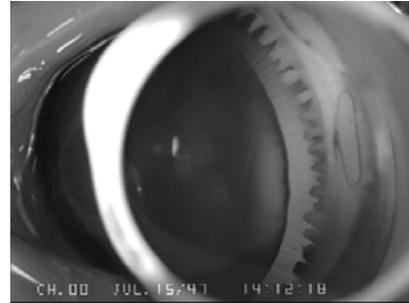
## Änderung des Linsendurchmessers beim zentral stimulierten Rhesusaffen

---

- Der Linsendurchmesser nimmt während der Akkommodation ab.
- Zwischen Akkommodationsamplitude und Linsendurchmesser besteht eine deutliche negative Korrelation
- Es besteht keine Korrelation zwischen Linsendurchmesser und Lebensalter
- MRT-Untersuchungen am Menschen zeigen ähnliche Ergebnisse.

## Gonioskopie des Ziliarmuskels beim Rhesusaffen

---



## Mögliche Unterschiede zwischen Primatenmodell und Menschen

---

- Unterschiedliche Verlagerung des Ziliarmuskels mit dem Alter
- Unterschiedliche Alterungsvorgänge der Choroidea
- Presbyopieentwicklung beim Rhesusaffen möglicherweise mehr vom Ziliarmuskel abhängig

## Weitere Studien

---

- Dynamische Messung der Akkommodation am wachen Rhesusaffen
- In vitro-Untersuchung von Rhesus-Linsen verschiedenen Alters
- Weitere Verfeinerung der zentralen Stimulation

## Zusammenfassung

---

- Akkommodation und Presbyopieentwicklung sind komplexe biomechanisch-neurale Vorgänge
- Dynamische Funktionsuntersuchungen am Menschen und im Primatenmodell können wichtige Informationen über die Physiologie und Pathophysiologie liefern

## Zusammenfassung

---

- Ziel ist ein Modell, das sowohl die Mechanik des Akkommodationsapparats als auch die visuelle Rückkopplung berücksichtigt.
- Genauere Kenntnis der Details des Akkommodationsvorgangs kann zur Entwicklung und Optimierung von Verfahren zur Therapie der Presbyopie beitragen.

Vielen Dank für die  
Aufmerksamkeit!

---



Frankfurt am Main

