

## **Chapter 7: Conclusions**

---

---



## Conclusiones:

1. Hemos desarrollado tecnología para medir las propiedades óptica in modelos animales. En particular, hemos desarrollado un sensor de onda Hartmann-Shack para medir las aberraciones oculares y un queratómetro para medir radios corneales de curvatura en pollos (miopes, emétopes y tras tratamiento con cirugía refractiva láser) y ratones, desarrollando protocolos para medir la longitud axial y el error refractivo de estos animales. Hemos descrito los primeros resultados en la literatura de aberraciones ópticas “in vivo”, sin anestesia ni retractores de párpado, en dichas especies.
2. La óptica del ojo del pollo no está limitada por difracción.
3. La calidad óptica del pollo mejora durante su desarrollo (es decir, las aberraciones ópticas disminuyen para un tamaño de pupila constante), y esta mejora no parece ser dirigida por estímulos visuales, esto ocurre incluso cuando el ojo está sujeto a una gran degradación de la imagen retiniana (por ejemplo, con difusores).
4. En pollos con un incremento de aberraciones al nacer no ve interferido su proceso de emetropización.
5. Los cambios geométricos resultante de un excesivo alargamiento ocular del ojo del pollo tratado con difusores afectan a la calidad óptica de los componentes oculares. Los ojos miopes muestran mayores cantidades de desenfoque producido por las aberraciones, pero esto es mínimo comparado con la degradación óptica producido por difusores o lo desarrollado por el propio error refractivo. En otras palabras, el aumento de aberraciones parece ser una consecuencia los cambios estructurales

del ojo producidos durante el alargamiento del ojo mas que ser una causa de la miopía (en este modelo la degradación viene impuesta por el difusor y el desenfoque inducido, mucho mayor que la degradación de la imagen retiniana impuesta por aberraciones).

6. Si hay un proceso activo de desarrollo de los componentes ópticos y un ajuste de las aberraciones ópticas de las distintas estructuras oculares, este es seguramente el resultado de un proceso preprogramado o simplemente es debido al escalamiento geométrico, pero no parece estar relacionado con la experiencia visual, al menos en gran medida.
7. La cirugía refractiva no es un método eficiente para inducir alargamiento ocular in el pollo. Una semana después del tratamiento de miopía con PRK, la cornea no presentaba alteraciones en su curvatura.
8. Los ojos de los pollos tratados con cirugía refractiva mostraban de forma significativa mayores cantidades de aberraciones de alto orden que los ojos sin tratar contralaterales. Además, el modelo de cirugía refractiva no afecta al proceso de emetropización, indicando que el aumento de aberraciones no inducen necesariamente miopía.
9. La calidad óptica del ratón es mucho peor que el pollo que el ojo de un primate.
10. Los valores de hipermetropía encontrados con aberrometría Hartmann-Shack en el ojo del ratón son consistentes con los datos previos en la literatura.
11. Las aberraciones de alto orden son la mayor fuente de degradación de la calidad óptica del ojo del ratón, indicando que la presencia de estas aberraciones no generan necesariamente miopía.
12. La gran profundidad de foco en el ratón puede ser la responsable de la alta tolerancia que tiene al desenfoque, y por tanto su baja respuesta a los

diferentes tratamientos para desarrollar miopía, comparada con otros modelos animales. En cualquier caso, la resolución espacial y la profundidad de foco no parece estar limitadas por las aberraciones ópticas.

13. El trazado de rayos de modelos de ojos diseñados a partir de datos biométricos pueden predecir el error refractivo medido y la aberración esférica en el ojo del pollo y ratón, así como cambios longitudinales con la edad y diferencias entre ojos de pollo emétopes y miopes. Se hace necesaria la introducción en el modelo un cristalino con gradiente de índice para reproducir los valores de aberración esférica observada, la cual era menor que los valores reproducidos con un modelo con índice homogéneo. Esto sugiere la existencia de un efecto compensatorio del cristalino de pollo y ratón, tal y como se ha descrito en otras especies.



## Conclusions

1. We have implemented technology to measure optical properties in animal models. In particular, we have developed a Hartmann-Shack wavefront sensor for measuring ocular aberrations and a keratometer to measure corneal radius of curvature in chicks (normal, developing myopia and after refractive surgery) and wild type mice, and developed protocols to measure axial length and refractive error in these animals. We have provided among the first results in the literature of optical aberrations (in vivo, without anaesthesia nor retractors) in these species.
2. The optics of the eye in chicks is not limiting spatial resolution.
3. Optical quality in chicks improves during development (i.e. optical aberrations decrease, for a constant pupil size), but this improvement does not seem to be visually guided, since it occurs even when the eye is subject to dramatic retinal image quality degradation (such as diffusers).
4. Chick eyes with higher amounts of aberrations at birth do not emmetropize less efficiently.
5. The geometrical changes resulting from excessive ocular axial growth in the chick eye treated with diffusers affect, the optical quality of the ocular components. Myopic eyes show higher amount of blur produced by aberrations, but this is minimal compared to the optical degradation produced by the diffuser or the developed refractive error. In other words, increased aberrations seem to be a consequence of the structural changes occurring in the excessively elongated eye rather than a cause of myopia (which in this model is induced by the degradation imposed by the diffuser and the induced defocus, much higher than the retinal image degradation imposed by aberrations).

6. If there is an active process for the development of optical components and a tuning of optical aberrations of ocular components this is likely the result of a pre-programmed process or just geometrical scaling but it does not seem to rely on visual experience to occur, at least to a great extent.
7. Corneal refractive surgery is not an efficient method to induce axial elongation in the chick eye. One week following surgery, the corneal curvature eyes treated with myopic PRK did not appear altered.
8. Chick eyes treated with myopic refractive surgery exhibited significantly higher amounts of high order aberrations than the untreated contralateral eyes. However, refractive surgery chick model did not alter the emmetropization process, indicating that increased amounts of aberrations do not necessarily induce myopia.
9. The optical quality in the mouse is much poorer than chick or primates.
10. The hyperopic errors found using Hartmann-Shack aberrometry in the mouse eye are consistent with previous refractive errors in the literature.
11. Higher order aberrations are major sources of optical quality degradation in the mouse eye, indicating that the presence of high amounts of optical aberrations is not necessarily related with myopia.
12. Increased optical depth of focus in mice may be responsible to a higher tolerance to defocus, and therefore for a less efficient response to different treatments to develop myopia, compared to other animal models. In any case, the spatial resolution and behavioural depth of focus does not seem to be limited by the optical aberrations.
13. Ray tracing on schematic eye models designed using known biometrical data can predict the measured refractive error and spherical aberration in the chick eye and mouse eye, as well as longitudinal changes with age and differences between emmetropic and myopic chick eyes. A gradient



index crystalline lens model needed to be assumed to match the amounts of observed spherical aberration, which was systematically higher than when purely geometrical parameters and a constant index were used. This suggests the presence of a compensatory effect in the lens of chicks and mice, as previously reported in other species.

