



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

VALIDACIÓN DE LA REFRACCIÓN SUBJETIVA VIRTUAL REALIZADA A PARTIR DE ABERROMETRÍA

RESUMEN

Introducción. La refracción es el proceso mediante el cual se cuantifica el error refractivo de un ojo amétrope proporcionando la lente esferocilíndrica que optimiza la calidad visual del sujeto. La refracción subjetiva es el método que se considera gold-estándar, por lo que, para validar cualquier otro método de refracción, los resultados obtenidos se han de comparar con la refracción subjetiva.

En la práctica clínica se utilizan métodos de refracción objetiva, como el autorrefractómetro o el retinoscopio. En la retinoscopía, el acuerdo con la refracción subjetiva depende de la edad, encontrándose refracciones entre 0.30D y 0.40D más positivos en retinoscopía para sujetos jóvenes [Millodot 1978]. La validez de la autorrefractometría depende del estudio y del modelo de autorrefractómetro, aunque se pueden encontrar diferencias de equivalente esférico mayores de 0.125D [Wosik 2019, Cooper 2011]. Aunque la validez del autorrefractómetro y del retinoscopio es limitada y, por tanto, no son métodos que se utilicen para prescribir, tienen una alta repetibilidad y reproducibilidad, lo que los hace muy útiles para el seguimiento de cambios en el estado refractivo.

En ocasiones, algunos sujetos no alcanzan una buena calidad visual con una lente esferocilíndrica (sin presentar patologías o problemas perceptivos) debido a la presencia de aberraciones oculares de alto orden. Actualmente no se utilizan compensaciones que corrijan este tipo de aberraciones pero, a partir de su medida, se puede calcular la lente esferocilíndrica que mejor corrige al ojo teniendo en cuenta los

coeficientes de Zernike de aberración de alto orden [Thibos 2004]. La refracción resultante es objetiva y presenta un buen acuerdo con la refracción subjetiva convencional.

En los últimos años se han desarrollado además métodos alternativos de refracción subjetiva [Dave 2004, Pujol 2017, Otero 2019, Hervella 2018], algunos de ellos tratan de minimizar la interacción sujeto-optometrista, reduciendo el papel del optometrista en la refracción. Perches et al. [Perches 2016b] desarrollaron un simulador en Matlab que calcula el aspecto de la imagen retiniana de un objeto extenso en cada paso de la refracción subjetiva a partir de la aberrometría del ojo. Con este simulador, no es el sujeto el que responde a cada uno de los test de refracción subjetiva, sino que el optometrista es el encargado de valorar las imágenes obtenidas y realizar el proceso completo de refracción virtual de manera similar al proceso de refracción subjetiva convencional. La refracción virtual es, por tanto, un método subjetivo. Si las imágenes retinianas en cada paso de la refracción, en lugar de ser evaluadas por el optometrista, son evaluadas objetivamente a través del cálculo de una métrica visual, el método de refracción sería objetivo.

Objetivo. Validar tres métodos distintos de refracción monocular basados en aberrometría (refracción virtual, refracción guiada por métrica y refracción objetiva a partir de los coeficientes de Zernike), comparando los resultados obtenidos con los de la refracción subjetiva convencional y estudiando el grado de aceptación de cada una de las refracciones por parte de los sujetos.

Metodología. Se ha seleccionado una muestra de 34 sujetos (un total de 67 ojos). Con esta muestra se garantiza un poder estadístico del 95% con un nivel de significación de 0.05. Se excluyen los ojos que presentan opacidades corneales, cataratas o sometidos a cirugía refractiva y los que presentan $AV < 0.8$ con su corrección habitual.

Se realiza la aberrometría (3 medidas) (aberrómetro iTrace) a cada ojo y se mide el tamaño pupilar. Se realiza la refracción subjetiva monocular con un protocolo estándar y el criterio de máximo positivo para la máxima AV (MPMAV) (desmiopizando hasta $AV = 0.32$, esfera horaria para la corrección parcial del cilindro, desmiopización hasta $AV = 0.63$, CCJ para afinar eje y potencia del cilindro corrector y desmiopización hasta el máximo positivo para máxima agudeza visual).

Con la aberrometría media calculada para cada ojo, se realiza el proceso de refracción virtual con el simulador, con el mismo protocolo que la refracción subjetiva monocular, aunque sin intervención del sujeto, sino que es el optometrista el encargado de valorar las imágenes.

Se programa un algoritmo para realizar una refracción guiada por métrica a partir de la aberrometría. El algoritmo encuentra la esfera y el cilindro necesarios para maximizar el valor de una cierta métrica visual, en este caso la Visual Strehl OTF (VSOTF). La orientación y la potencia del cilindro se calculan mediante la prueba de los CCJ guiada por métrica. En este caso no es necesaria la colaboración ni del sujeto ni del optometrista.

Además, se calcula la refracción de cada ojo de manera objetiva a partir de los valores de los coeficientes de Zernike de bajo y alto orden obtenidos en la aberrometría [Thibos 2004], que se relacionan directamente con las componentes M , J_0 y J_{45} .

Las componentes de refracción (M , J_0 y J_{45}) obtenidas con cada uno de los tres métodos se comparan con las de la refracción subjetiva convencional mediante un análisis Bland Altman y mediante un análisis estadístico. Se comprueba que se pueden utilizar los 67 ojos como una muestra independiente. La normalidad de las distribuciones de diferencias entre dos métodos para cada componente se comprueba con el test de Kolmogorov-Smirnov. Si la distribución de diferencias es normal, se analiza con el test t-student y, si no lo es, con el test no paramétrico de Wilcoxon para muestras pareadas. En ambos casos se utiliza como hipótesis nula que la media de las diferencias (en el caso del t-student) o la diferencia entre las distribuciones de la componente obtenida por cada uno de los dos métodos que se comparan (en el caso de Wilcoxon) es igual a cero.

Por último, se comprueba el grado de aceptación de cada una de las refracciones por parte de los sujetos. Se mide la AV alcanzada por cada ojo con cada una de las cuatro refracciones. El sujeto puntúa cada una de las refracciones del 1 al 5 y elige cuál de ellas prefiere. Se analizan estadísticamente las diferencias de puntuación obtenidas entre diferentes métodos.

Resultados. Las gráficas Bland Altman muestran que la media de diferencias de la componente M en el caso de comparar la refracción virtual con la subjetiva es menor de 0.125D y menor a su vez que en la



comparación de la refracción objetiva y la guiada por métrica con la refracción subjetiva, en las que la media de las diferencias para M es mayor de 0.25D. En todos los casos la media de las diferencias es positiva, lo que indica que en la refracción subjetiva se obtiene en media un valor de M más positivo que en cualquiera de los otros métodos. Para las componentes J_0 y J_{45} la media de las diferencias es menor que 0.125D en todos los casos, siendo el valor más alto el obtenido para la componente J_0 en el caso de comparar el método objetivo a partir de Zernike con el subjetivo. Estos resultados son corroborados por el análisis estadístico, que sólo encuentra diferencias significativas con la refracción subjetiva en el caso de la componente M de los dos métodos objetivos y en el caso de la componente J_0 de la refracción objetiva a partir de Zernike. Los niveles de acuerdo (LoA) son similares en los tres casos, alrededor de $\pm 1D$ para la componente M y alrededor de $\pm 0.5D$ para J_0 y J_{45} . Estos LoA son similares a los encontrados en la bibliografía para el autorrefractómetro en el caso de M, pero entre 0.125D y 0.25D mayores en el caso de J_0 y J_{45} [Gajwani 2006, Cooper 2011, Wosik 2019]. Si comparamos los LoA con los encontrados en la validación de otros métodos alternativos de refracción, se encuentran valores similares para M en el caso del método de Pujol et al. [Pujol 2017], aunque en el caso del Topcon BV 1000 [Dave 2004], Hervella et al. [Hervella 2018] y Otero et al. [Otero 2019] los LoA encontrados tanto para la componente M como para J_0 y J_{45} son menores que en el caso de los tres métodos estudiados en este TFG.

Entre los factores que pueden influir en las diferencias encontradas entre los tres métodos de refracción y la refracción subjetiva convencional se encuentra la dispersión cromática. El cálculo de la métrica VSOTF, de las imágenes retinianas y de la refracción a partir de los coeficientes de Zernike se realizan para una sola longitud de onda, al contrario que en la refracción subjetiva, donde se tiene mayor profundidad de foco debido a la dispersión cromática. Por otra parte, el criterio MPMVA se sigue en la refracción subjetiva convencional y en la refracción virtual, pero no en los métodos objetivos de refracción (guiada por métrica y calculada a partir de coeficientes de Zernike), lo que puede ocasionar resultados más negativos en estos dos últimos métodos. La distancia objeto (infinito en los tres métodos estudiados, pero 5m en la refracción subjetiva convencional) y la distancia al vértice (difícil de mantener en el foróptero en la refracción subjetiva debido a los movimientos relativos entre el sujeto y el foróptero) son otros dos factores que pueden influir en las diferencias encontradas.

En cuanto a los resultados de aceptación de las diferentes refracciones por parte de los sujetos, el método más aceptado es el de la refracción guiada por métrica, seguido de la refracción objetiva calculada a partir de los coeficientes de Zernike, ambos con puntuaciones por encima de la refracción subjetiva y de la virtual. Este resultado puede estar relacionado con el hecho de que ambas refracciones objetivas sean en media más negativas que la refracción subjetiva convencional. Aunque la AV media obtenida con los cuatro métodos de refracción sólo se diferencian en una línea de AV, las diferencias de puntuación son estadísticamente significativas al comparar la refracción subjetiva y la virtual y la refracción subjetiva y la guiada por métrica. También resulta estadísticamente significativa la diferencia de puntuación entre la refracción virtual y la refracción objetiva a partir de los coeficientes de Zernike.

Conclusiones. De los tres métodos evaluados, la refracción virtual es la única que no presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto a la refracción subjetiva convencional para ninguna de las componentes. Con los dos métodos objetivos se obtienen resultados más negativos que en la refracción subjetiva en el equivalente esférico. La refracción virtual resulta ser la peor valorada en media por los sujetos, por detrás de los métodos objetivos.

[Cooper 2011] J. Cooper, K. Citek, J. M. Feldman, "Comparison of refractive error measurements in adults with Z-View aberrometer, Humphrey autorrefractor and subjective refraction" *Optometry* 82, 231-240 (2011).

[Dave 2004] T. Dave, Y. Fukuma, "Clinical evaluation of the Topcon B-1000 automated subjective refraction system", *Optom. Vis. Sci.* 81, 323-333 (2004).

[Gajwani 2006] P. Gajwani, L. I. Mudie, D. Zhao, C. Ogega, E. Johnson, D. S. Friedman, "Comparison of refractive error measurements in adults obtained by autorefraction and subjective refraction", *Investigative ophthalmology and visual science* 57, 3978 (2016).

[Hervella 2018] L. Hervella, E. A. Villegas, P. M. Prieto, P. Artal, "Assessment of subjective refraction with a clinical adaptive optics visual simulator", *J. Cataract Refract. Surg* 45, 87-93 (2018).

[Millodot 1978] M. Millodot, D. O'Leary, "The discrepancy between retinoscopic and subjective measurements: effects of age", *Am. J. Optom. Physiol. Opt.* 55, 309-316 (1978).

[Otero 2019] C. Otero, M. Aldaba, J. Pujol, "Clinical evaluation of an automated subjective refraction method implemented in a computer-controlled motorized phoropter", *Journal of Optometry* 12, 74-83 (2019).



[Perches 2016b] S. perches, M. V. Collados, J. Ares, "Repeatability and reproducibility of virtual subjective refraction", *Optom. Vis. Sci.* 93, 1243-1253 (2016).

[Pujol 2017] J. Pujol, J. C. Ondategui-Parra, L. Badiella, C. Otero, M. Vilaseca, M. Aldaba, "Spherical subjective refraction with a novel 3D virtual reality based system", *Journal of Optometry* 10, 43-51 (2017).

[Thibos 2004] L. N. Thibos, X. Hong, A. Bradley, R. A. Applegate, "Accuracy and precision of objective refraction from wavefront aberrations" *J. Vis* 23, 329-351 (2004).

[Wosik 2019] J. Wosik, M. Patrzykont, J. Pniewski, "Comparison of refractive error measurements by three different models of autorefractors and subjective refraction in young adults", *J. Opt. Soc. Am. A-Optics image science and vision* 36, B1-B6 (2019).