

Densitometria do Cristalino Baseada no Princípio de Scheimpflug na Avaliação Pré-Operatória de Cataratas Nucleares

Fernando Faria Correia ^{1,2,3,4}; Tiago Monteiro ^{1,2,3}; Nuno Franqueira ^{1,2}; Fernando Vaz ^{1,2}; Renato Ambrósio Jr. ^{4,5,6,7}

¹ Hospital de Braga, Braga, Portugal

² CUF Porto, Porto, Portugal

³ Escola de Medicina, Universidade do Minho, Braga, Portugal

⁴ Grupo de Estudos de Tomografia e de Biomecânica da Córnea, Rio de Janeiro, Brasil

⁵ VisareRIO, Rio de Janeiro, Brasil

⁶ Instituto de Olhos Renato Ambrósio, Rio de Janeiro, Brasil

⁷ Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), São Paulo, Brasil

RESUMO

Objetivos:

Material e Métodos:

Resultados:

Conclusões:

Palavras-Chave:

INTRODUÇÃO

A opacificação do cristalino é um processo relacionado com a idade e contribui para a degradação da acuidade visual e da sensibilidade ao contraste. Os dados epidemiológicos relacionados com esta doença são indefinidos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) descreveu a catarata como a principal causa de cegueira e a segunda causa mais frequente de deficiência visual em todo o mundo. Devido ao envelhecimento da população, a prevalência de catarata deverá aumentar nas próximas décadas. Esta patologia tem um impacto social e financeiro inerente, pois pode afetar as atividades diárias dos idosos devido à baixa visão. Consequentemente, o diagnóstico e a gestão apropriados são necessários para os programas nacionais de saúde. Após a remoção da catarata, estudos prévios demonstraram que os doentes eram mais capazes de realizar atividades produtivas e houve uma melhoria da qualidade de vida.(1-3) Atualmente, a cirurgia de catarata também está a ser realizada mais precocemente, assim que os primeiros sinais de opacificação do cristalino aparecem. Neste sentido, os doentes solicitam uma melhor qualidade de visão e também uma maior independência de óculos de correção. Estes factos reforçam a necessidade de métodos objetivos que podem medir o impacto de uma catarata na visão, para melhorar a sensibilidade na identificação dos doentes cuja qualidade de vida pode ser melhorada com a cirurgia.(4)

DIFERENTES MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

A avaliação adequada é essencial porque o tipo de catarata pode determinar queixas específicas, perda de visão funcional e uma abordagem cirúrgica distinta. A avaliação da catarata mostrou ser influenciada pela subjetividade clínica. Para ultrapassar este problema, os desenvolvimentos científicos e tecnológicos possibilitaram novos métodos para documentar a doença e analisar o seu impacto na função visual e na qualidade de vida do doente. Na avaliação pré-operatória, o método clínico mais amplamente utilizado para avaliar a opacificação do cristalino é o sistema de classificação *Lens Opacities Classification System III* (LOCS III), tendo sido desenvolvido em 1993 por Chylack et al..(5) Este sistema derivou do LOCS II, que foi introduzido em 1989, e trata-se de um método aprimorado para classificar e comparar o

tipo e gravidade da catarata senil com base no exame de biomicroscopia. Alguns ajustes foram realizados para permitir uma melhor caracterização das cataratas. Por exemplo, o LOCS III usa seis imagens padronizadas obtidas por uma lâmpada-de-fenda para classificar a opalescência e a cor nucleares (NO e NC, respetivamente), e cinco imagens de retroiluminação para escalar a catarata cortical e subcapsular posterior. O grau de catarata é obtido a partir de uma escala decimal em intervalos igualmente espaçados, em que a NO e a NC são caracterizadas numa escala de 0,1 a 6,9 (com base nas seis fotografias padrão), e a cortical e subcapsular posterior são classificadas numa escala de 0,1 a 5,9 (com base nas cinco imagens padrão). Estudos prévios demonstraram correlações significativas entre a classificação da NO baseada no LOCS III e a redução da acuidade visual. Apesar destes achados, outros estudos também mostraram uma intra e inter-variabilidade entre as avaliações.(5-7)

O desenvolvimento de sistemas de imagem do segmento anterior permitiu a avaliação da densidade do cristalino nos olhos com diferentes tipos de catarata. Por exemplo, os sistemas de imagem baseados no princípio de Scheimpflug permitem a avaliação objetiva da densitometria do cristalino.(8) Esta modalidade não é suscetível à variabilidade do observador e é considerada uma abordagem mais sensível e reprodutível. Uma extensa revisão da literatura relacionada com este tópico revelou que a avaliação objetiva da catarata com esta tecnologia oferece uma oportunidade considerável para inúmeras pesquisas científicas, especialmente no que se refere ao estado funcional do cristalino e ao planeamento cirúrgico. Estudos prévios demonstraram que a densitometria do cristalino apresenta uma correlação significativa com a acuidade visual e com a classificação LOCS III em cataratas nucleares. Vários fatores comprometem a comparação de resultados e conclusões de pesquisas anteriores, tais como diferentes métodos de avaliação e parâmetros de densitometria.(9, 10)

Outros aparelhos complementares de diagnóstico com utilidade nesta área são os aberrómetros (ou estudo da frente-de-onda) que podem analisar as aberrações de alta-ordem ou a dispersão da luz (*scattering*) que interferem com a qualidade visual do doente.(11) No que diz respeito à avaliação aberrométrica, a alteração do perfil interno das aberrações de alta-ordem (HOAs) e a opacificação leve do cristalino podem explicar alguns sintomas relatados pelos doentes com catarata subclínica, mesmo com achados

imperceptíveis nas medições da acuidade visual. O envelhecimento causa deterioração da qualidade óptica, principalmente devido a mudanças progressivas na estrutura do cristalino, induzindo um aumento nas HOAs e na dispersão da luz. Neste sentido, a córnea possui uma magnitude de aberração esférica de aproximadamente $+0,28 \mu\text{m}$ (considerando uma pupila de $6,0 \text{ mm}$). Em adultos jovens, esta aberração é compensada pela aberração esférica negativa ($-0,27 \mu\text{m}$) derivada do cristalino. Com o envelhecimento, o cristalino diminui a sua aberração esférica negativa, neutralizando-a aos 40 anos e ficando positiva após os 60 anos. Assim, na presença de aberrações corneanas dentro do intervalo normal (inferior a $0,300 \mu\text{m}$), a modificação do perfil das aberrações internas é indicativo de mudanças refrativas no cristalino, sugerindo um processo de esclerose nuclear, embora a sua transparência não esteja alterada significativamente.(1, 12) Estes achados foram documentados em estudos prévios utilizando diferentes tipos de dispositivos de análise de frente-de-onda, incluindo os sensores Hartmann-Shack.(13-15) O *iTrace Visual Function Analyzer* (Tracey Technologies, Houston, Texas, EUA) é um aparelho de análise de frente-de-onda, que integra um aberrómetro com um topógrafo corneano. O aberrómetro usa o princípio de *ray tracing*, que projeta sequencialmente 256 raios de laser infravermelho em um padrão de varredura específico. Este sistema apresenta algumas vantagens em relação a outros sensores. Em primeiro, a captura é rápida e cada ponto é analisado sequencial e separadamente. Devido ao controle rápido do perfil de pontos de laser projetado na pupila, o *software* pode rastrear o tamanho da pupila e projetar todos os 256 pontos em diferentes tamanhos pupilares (de 1 mm a 8 mm). (16) Neste dispositivo, as aberrações da córnea são calculadas com base em dados da topografia e as aberrações internas são obtidas subtraindo as aberrações da córnea daquelas medidas pelo aberrómetro. Este sistema tem a particularidade de fornecer o *Dysfunctional Lens Index* (DLI; Figura 1), que é um parâmetro objectivo de desempenho do cristalino e é calculado com base nos dados das aberrações de alta-ordem internas, tamanho da pupila e sensibilidade ao contraste. Este índice objectivo classifica o desempenho geral do cristalino de 0 (fraco) a 10 (excelente) pontos.

Curiosamente, verifica-se também um número limitado de estudos científicos sobre a relação entre a análise da frente-de-onda e a densitometria do cristalino, especialmente quando se considera a aberrometria por *ray*

tracing. Como referido anteriormente, a análise da frente-de-onda deteta alterações no cristalino previamente a uma redução notável na acuidade visual. Sendo assim, o estudo da sua relação com a densitometria do cristalino pode ajudar a entender a aplicação desta última tecnologia como ferramenta de avaliação funcional do cristalino e na detecção de formas iniciais de catarata.

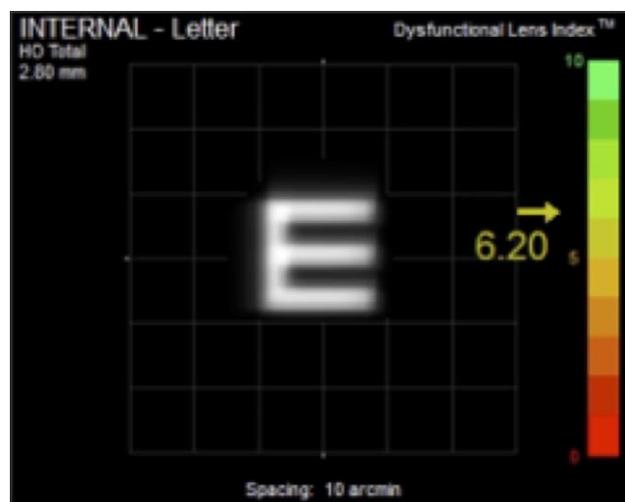


Fig.1 *Dysfunctional Lens Index* disponibilizado pelo *iTrace Visual Function Analyzer*.

OS NOSSOS RESULTADOS CIENTIFICOS

No departamento de Oftalmologia do Hospital de Braga/Escola de Medicina da Universidade do Minho realizaram-se diferentes estudos científicos integrando a densitometria do cristalino baseada no princípio de Scheimpflug e a aberrometria por *ray tracing* em doentes com cataratas nucleares.

No estudo inicial apresentamos as relações entre diferentes métodos de classificação de catarata e a magnitude das HOAs internas. Uma câmara rotacional de Scheimpflug (Pentacam HR, Oculus, Wetzlar, Alemanha) foi usada para avaliar a densidade nuclear do cristalino. No dispositivo utilizado nos nossos estudos, o *Pentacam Nuclear Staging* (PNS) permite a determinação objetiva da densidade do cristalino. O *software* gera automaticamente um modelo cilíndrico para a medição da densidade. A Figura 2 ilustra o método de análise densitométrica usado neste estudo inicial. Quarenta olhos de 30 doentes (17 mulheres, 13 homens) foram incluídos neste análise. A idade média foi de $65,65 \pm 11,60$ anos (intervalo: 44 a 86

anos) e a acuidade visual para longe corrigida (CDVA) média em unidades logMAR foi de $0,15 \pm 0,13$ (intervalo: 0 a 0,4). Os nossos resultados sugerem que a esclerose nuclear é um processo relacionado com o envelhecimento e contribui para a degradação da acuidade visual. Por exemplo, as avaliações subjetivas (NO baseado na classificação LOCS III) e objetivas (pontuação PNS, densidade média e densidade máxima) apresentaram relações semelhantes com a idade (Tabela 1) e a CDVA (Tabela 2). Os nossos resultados demonstraram que a aberração comática foi a HOA mais predominante ($0,12 \pm 0,10$; intervalo: 0,01 a 0,40). A densidade média e a densidade máxima estavam significativamente correlacionadas com a totalidade das HOAs internas (Figura 3). Além de confirmar uma relação entre os HOAs internas e a esclerose nuclear relacionada com a idade, os resultados apresentados neste estudo comprovam que os parâmetros da densitometria do cristalino podem ser úteis na identificação da catarata nuclear precoce. Há que destacar que um estudo prévio concluiu que a pontuação PNS é um parâmetro útil para o planeamento pré-operatório da cirurgia de catarata, já que apresentou correlação positiva com a energia ultrassónica.(17) Os dados do nosso estudo sugerem que a pontuação PNS não é representativa da estado funcional do cristalino (não apresentou correlações estatisticamente significativas com os dados aberrométricos) em comparação com os parâmetros quantitativos derivados da densitometria do cristalino baseada no princípio de Scheimpflug (densidade média e densidade máxima). Outra vantagem destes parâmetros é sua apresentação numa escala contínua (0-100%), permitindo uma avaliação mais detalhada.(18)

Tabela 1 – Correlações entre os diferentes métodos de avaliação de catarata e a idade

| | Idade | p |
|------------------|--------|---------|
| NO | 0.364* | 0.023 |
| Pontuação PNS | 0.518* | 0.001 |
| Densidade Média | 0.767 | < 0.001 |
| Densidade Máxima | 0.401 | 0.010 |

NO = opalescência nuclear baseada na classificação LOCS III
 PNS = Pentacam Nuclear Staging
 * Correlação de Spearman

Tabela 2 – Correlações entre os diferentes métodos de avaliação de catarata e a acuidade visual para longe corrigida

| | CDVA | p |
|------------------|--------|---------|
| NO | 0.339* | 0.034 |
| Pontuação PNS | 0.453* | 0.005 |
| Densidade Média | 0.744 | < 0.001 |
| Densidade Máxima | 0.408 | 0.003 |

CDVA = acuidade visual para longe corrigida
 NO = opalescência nuclear baseada na classificação LOCS III
 PNS = Pentacam Nuclear Staging
 * Correlação de Spearman

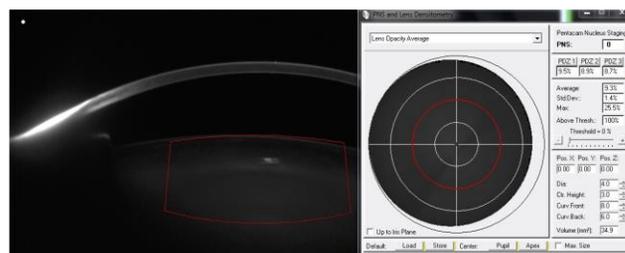


Fig.2 Pentacam Nuclear Staging (PNS) permite a análise tridimensional do cristalino. No primeiro estudo foram analisados diferentes parâmetros densitométricos, nomeadamente a pontuação PNS, a densidade média e a densidade máxima. Neste caso, a pontuação PNS apresentou 0, a densidade média é de 9,3% e a densidade máxima é de 25,5%.

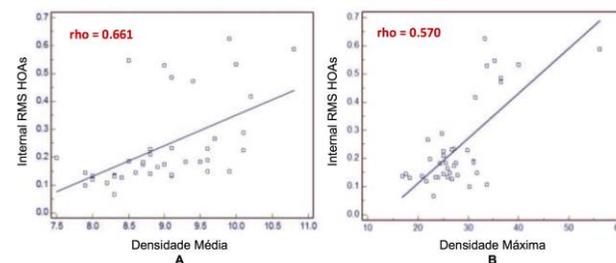


Fig.3 Relações entre a os parâmetros densitométricos (A: densidade média; B: densidade máxima) e o total de aberrações de alta ordem internas (Internal RMS HOAs).

Um estudo subsequente teve como principal objetivo a análise e a descrição da relação do DLI com a CDVA, a classificação da NO do cristalino com base no LOCS III e a densidade do cristalino. Neste estudo, o modelo tridimensional do *Pentacam Nuclear Staging* software foi colocado no centro do núcleo, excluindo o córtex anterior e posterior, e apresentava as seguintes características: 4 mm de diâmetro, altura de 2,4 mm, curvatura frontal de 8,3 mm e curvatura traseira de 4,8 mm (Figura 4). Esta análise permitiu a quantificação objetiva das opacidades do cristalino dentro do modelo (densidade média e densidade

máxima) numa escala contínua de 0 a 100%. Para o objetivo deste estudo, apenas o parâmetro “densidade média” foi registado. Quarenta olhos de 30 doentes (15 mulheres e 15 homens) foram incluídos neste estudo. A idade média foi de $67,53 \pm 10,70$ anos (intervalo: 46 a 90 anos) e a CDVA média em unidades logMAR foi de $0,15 \pm 0,13$ (intervalo: 0 a 0,4). O DLI mostrou uma alta correlação linear e negativa com a pontuação da opalescência nuclear ($r = -0,616, P < 0,01$). A densidade nuclear média apresentou uma correlação positiva com a pontuação da opalescência nuclear ($r = 0,697, P < 0,01$). O parâmetro de densidade média baseado no princípio de Scheimpflug demonstrou uma correlação negativa com o DLI ($r = -0,555; P < 0,01$). No que diz respeito ao CDVA, este parâmetro apresentou a correlação mais forte com o DLI ($r = -0,702, P < 0,01$) em comparação com os outros métodos de avaliação da catarata (Figura 5).(19)

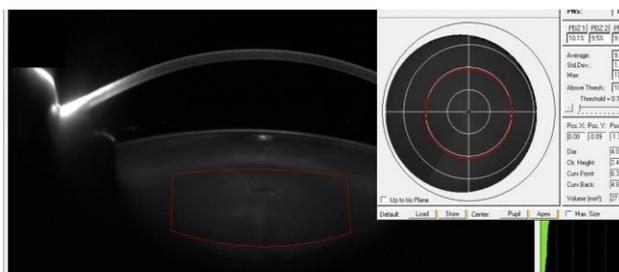


Fig.4 Características do modelo de análise do Pentacam Nuclear Staging (PNS) utilizado nos últimos estudos apresentados. O modelo tridimensional foi colocado no centro do núcleo, excluindo o córtex anterior e posterior, e apresentava as seguintes características: 4 mm de diâmetro, altura de 2,4 mm, curvatura frontal de 8,3 mm e curvatura traseira de 4,8 mm.

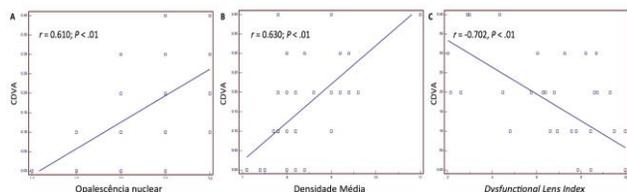


Fig.5 Relações entre a acuidade visual para longe corrigida (CDVA) e (A) opalescência nuclear, (B) densidade média e (C) Dysfunctional Lens Index.

Noutro estudo analisámos a relação entre parâmetros objetivos de quantificação da disfunção do cristalino com a redução da CDVA e a facodinâmica em doentes com catarata nuclear relacionada com a idade. As mesmas características descritas previamente para a análise da região nuclear da catarata pela câmara de Scheimpflug

(Pentacam HR) foram utilizadas neste estudo. Foram incluídos 51 olhos de 34 doentes (20 mulheres e 14 homens). A idade média foi de $70,77 \pm 9,19$ anos (intervalo: 52 a 90 anos) e CDVA pré-operatória média foi de $0,24 \pm 0,16$ em unidades logMAR (intervalo: 0 a 0,7). O DLI demonstrou uma alta correlação linear negativa com a opalescência nuclear ($r = -0,728, P < 0,01$). A densidade nuclear média apresentou uma correlação positiva com a opalescência nuclear ($r = 0,680, P < 0,01$). O CDVA pré-operatório apresentou uma relação estatisticamente significativa com os diferentes métodos de avaliação de catarata. No entanto, o DLI apresentou a correlação mais forte com o parâmetro CDVA ($r = -0,670, P < 0,01$). Todos os doentes foram submetidos a facoemulsificação com implantação de lente intraocular de câmara posterior sob anestesia local. A técnica de facoemulsificação foi a *stop-and-chop*, utilizando o sistema *Infiniti* (Alcon Laboratories, Inc, Fort Worth, Texas, EUA). No final do procedimento, o parâmetro *Cumulative Dissipative Energy* (CDE) foi registado. O CDE médio foi de $8,92 \pm 6,70$ (intervalo: 0,05 a 21,42). A Figura 6 mostra as relações entre o CDE e os diferentes parâmetros de análise da catarata. O CDE apresentou relações mais fortes com a densidade nuclear do cristalino e o DLI ($r = -0,744$ e $r = 0,700$, respectivamente, ambos $P < 0,01$). (20)

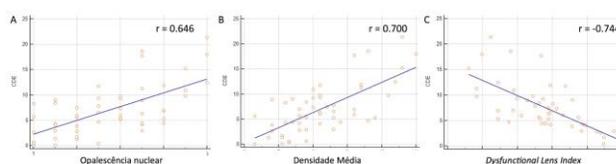


Fig.6 Relações entre a cumulative dissipated energy (CDE) e (A) opalescência nuclear, (B) densidade média e (C) Dysfunctional Lens Index.

DIFERENÇAS NAS ANÁLISES DENSITOMÉTRICAS

Como referido anteriormente, nos dois últimos estudos, o modelo tridimensional do PNS foi colocado no centro do núcleo, excluindo o córtex anterior e posterior, e apenas o parâmetro “densidade média” foi registado. A presença de artefactos refletivos ao nível do córtex anterior e posterior é uma limitação inerente a esta tecnologia, e pode induzir valores de densidade máxima falsos. Por este motivo, decidimos não incluir este parâmetro nas análises

subsequentes. No primeiro estudo, o método de densitometria (Figura 1) também incluiu uma área de córtex anterior do cristalino na avaliação. Como esta região é a que está associada a alterações de densidade mais precoces numa grande percentagem de casos, este achado influencia a avaliação real da densidade nuclear da catarata no primeiro estudo. A customização do modelo cilíndrico ajudou a superar esta limitação.(9, 18-20)

CONCLUSÕES

Os nossos resultados demonstram que a densitometria do cristalino apresentou uma relação estatisticamente significativa com o sistema de classificação LOCS III, o CDVA e a análise aberrométrica por *ray tracing*. Assim, estes dados sugerem a utilidade da densitometria do cristalino como ferramenta essencial para avaliar objetivamente a gravidade das formas leves de cataratas nucleares relacionadas com a idade, bem como para deduzir o estado funcional do cristalino. Ambos os parâmetros objetivos (densidade média e DLI) foram também úteis para prever a facodinâmica nos olhos com cataratas nucleares. No entanto, a imagiologia do segmento anterior é considerada uma área clínica e de pesquisa em constante evolução. Os dados apresentados alertam para o uso adequado do *software* de densitometria do cristalino, em relação à seleção e colocação do modelo de densitometria, bem como o parâmetro de densidade selecionado. No futuro, novas tecnologias poderão fornecer dados mais pormenorizados sobre o estado funcional do cristalino, auxiliando na seleção do melhor método terapêutico para o doente.

REFERENCES

1. Alió JL, Schimchak P, Negri HP, Montès-Mic Ú R. Crystalline lens optical dysfunction through aging. *Ophthalmology*. 2005;112(11):2022-9
2. Organisation WH. The Global Initiative for the Elimination of Avoidable Blindness. *Vision 2020. The Right to see*. 2016 [Available from: <http://www.who.int/pbd/Vision2020>].
3. Frick KD, Foster A. The magnitude and cost of global blindness: an increasing problem that can be alleviated. *Am J Ophthalmol*. 2003;135(4):471-6.
4. Braga-Mele R, Chang D, Dewey S, Foster G, Henderson BA, Hill W, et al. Multifocal intraocular lenses: relative indications and contraindications for implantation. *J Cataract Refract Surg*. 2014;40(2):313-22.
5. Chylack LT, Wolfe JK, Singer DM, Leske MC, Bullimore MA, Bailey IL, et al. The Lens Opacities Classification System III. The Longitudinal Study of Cataract Study Group. *Arch Ophthalmol*. 1993;111(6):831-6.
6. Karbassi M, Khu PM, Singer DM, Chylack LT, Jr. Evaluation of lens opacities classification system III applied at the slitlamp. *Optom Vis Sci*. 1993;70(11):923-8.
7. Hall AB, Thompson JR, Deane JS, Rosenthal AR. LOCS III versus the Oxford Clinical Cataract Classification and Grading System for the assessment of nuclear, cortical and posterior subcapsular cataract. *Ophthalmic Epidemiol*. 1997;4(4):179-94.
8. Ambrosio R, Jr., Valbon BF, Faria-Correia F, Ramos I, Luz A. Scheimpflug imaging for laser refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2013;24(4):310-20.
9. Weiner X, Baumeister M, Kohnen T, Bühren J. Repeatability of lens densitometry using Scheimpflug imaging. *J Cataract Refract Surg*. 2014;40(5):756-63.
10. Kirkwood BJ, Hendicott PL, Read SA, Pesudovs K. Repeatability and validity of lens densitometry measured with Scheimpflug imaging. *J Cataract Refract Surg*. 2009;35(7):1210-5
11. Artal P, Berrio E, Guirao A, Piers P. Contribution of the cornea and internal surfaces to the change of ocular aberrations with age. *J Opt Soc Am A Opt Image Sci Vis*. 2002;19(1):137-43.
12. Kuroda T, Fujikado T, Ninomiya S, Maeda N, Hirohara Y, Mihashi T. Effect of aging on ocular light scatter and higher order aberrations. *J Refract Surg*. 2002;18(5):S598-602 %8 2002 Sep-Oct %! Effect of aging on ocular light scatter and higher order aberrations % @ 1081-597X %M 12361165.
13. Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, Oshika T, Hirohara Y, Mihashi T. Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract. *Am J Ophthalmol*. 2002;134(1):1-9 %8 Jul %! Wavefront analysis in eyes with nuclear or cortical cataract % @ 0002-9394 %M 12095801.

14. Kuroda T, Fujikado T, Maeda N, Oshika T, Hirohara Y, Mihashi T. Wavefront analysis of higher-order aberrations in patients with cataract. *J Cataract Refract Surg.* 2002;28(3):438-44.
 15. Rocha KM, Nose W, Bottos K, Bottos J, Morimoto L, Soriano E. Higher-order aberrations of age-related cataract. *J Cataract Refract Surg.* 2007;33(8):1442-6.
 16. Pinero DP, Sanchez-Perez PJ, Alio JL. Repeatability of measurements obtained with a ray tracing aberrometer. *Optom Vis Sci.* 2011;88(9):1099-105.
 17. Nixon DR. Preoperative cataract grading by Scheimpflug imaging and effect on operative fluidics and phacoemulsification energy. *J Cataract Refract Surg.* 2010;36(2):242-6. Feb. Preoperative cataract grading by Scheimpflug imaging and effect on operative fluidics and phacoemulsification energy. 1873-4502.
 18. Faria-Correia F, Lopes B, Monteiro T, Franqueira N, Ambrosio R, Jr. Scheimpflug lens densitometry and ocular wavefront aberrations in patients with mild nuclear cataract. *J Cataract Refract Surg.* 2016;42(3):405-11.
 19. Faria-Correia F, Ramos I, Lopes B, Monteiro T, Franqueira N, Ambrosio R, Jr. Comparison of Dysfunctional Lens Index and Scheimpflug Lens Densitometry in the Evaluation of Age-Related Nuclear Cataracts. *J Refract Surg.* 2016;32(4):244-8.
 20. Faria-Correia F, Ramos I, Lopes B, Monteiro T, Franqueira N, Ambrosio R, Jr. Correlations of Objective Metrics for Quantifying Dysfunctional Lens Syndrome With Visual Acuity and Phacodynamics. *J Refract Surg.* 2017;33(2):79-83.
-