

CIRURGIA OCULAR SÃO CRISTÓVÃO

SERVIÇO DE OFTALMOLOGIA

PROGRAMA DE FELLOWSHIP

ANÁLISE PAQUIMÉTRICA DA CÓRNEA NO PRÉ- OPERATÓRIO E CORRELAÇÃO COM EDEMA CORNEANO NO PÓS OPERATÓRIO DA FACOE- MULSIFICAÇÃO

LAÍS BOGADO HAGE CHAHINE OLSEN

RIO DE JANEIRO
2024

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao programa Fellowship em
Catarata – COSC Cirurgia Ocular São Cris-
tóvão – Grupo Opty.

Orientadores: Eduardo Olivo da Luz e
Vitor Barbosa Cerqueira

LAÍS BOGADO H. C. OLSEN

RIO DE JANEIRO – RJ

2024

ANÁLISE PAQUIMÉTRICA DA CÓRNEA NO PRÉ-OPERATÓRIO E CORRELAÇÃO COM EDEMA CORNEANO NO PÓS OPERATÓRIO DA FACOE-MULSIFICAÇÃO

Dados do autor:

Nome: Laís Bogado Hage Chahine Olsen

Endereço: Rua Humberto de Campos, n 382, ap 703, Bairro Leblon, Cidade Rio de Janeiro

Telefone: (32) 999575747

Contato: lais.bogado@yahoo.com

Declaração de conflito de interesses:

Eu, Laís Bogado Hage Chahine Olsen, autora responsável pela submissão do manuscrito intitulado: “ANÁLISE PAQUIMÉTRICA DA CÓRNEA NO PRÉ-OPERATÓRIO E CORRELAÇÃO COM EDEMA CORNEANO NO PÓS OPERATÓRIO DA FACOE-MULSIFICAÇÃO.” declaro que não possuo conflitos de interesse de ordem pessoal, acadêmica e financeira no manuscrito.

Resumo

Introdução: A Córnea é uma estrutura convexa transparente com alto poder refrativo. Se diferencia da esclera pelo grau de hidratação e pela disposição das fibras de colágeno. Embora seja avascular, o que garante sua transparência, é ricamente inervada por fibras do ramo oftálmico do nervo trigêmeo. O edema corneano é causado pela hidratação excessiva da córnea que afeta a transmissão da luz, a refração, a transparência e por consequência o desempenho visual. A causa mais comum do edema é a facoemulsificação com implante de lente intraocular, que é a cirurgia mais realizada no mundo para o tratamento de catarata. Os fatores que podem estar associados ao edema corneano pós-operatório são: baixa densidade celular entotelial corneana (DEC), alta espessura central da córnea (ECC), grau da catarata, o tempo efetivo de potência do ultrassom e entre outros. O propósito deste estudo foi avaliar a influência da ECC, e secundariamente da DEC e do tempo de uso do ultrassom no edema corneano pós operatório. Métodos: Estudo observacional transversal, abrangendo cem pacientes com catarata nuclear grau 2 (N2) submetidos à técnica de fratura *phaco-chop*. Para avaliar a influência das variáveis ECC, DEC e tempo de uso do ultrassom no edema corneano pós operatório, os pacientes foram divididos em grupos de acordo com a presença do edema corneano (sim e não) e a classificação do edema (0, 1, 2). Resultados: Na amostra do estudo, o único fator associado foi o tempo efetivo de potência do ultrassom ($p < 0.0001$), sendo que 52% dos pacientes apresentaram edema corneano no pós-operatório imediato, apresentando mediana do tempo de uso do ultrassom igual a 36 segundos. Conclusão: Os resultados sugerem que quanto maior o tempo de uso do ultrassom na cirurgia, maior é a chance de desenvolver edema corneano no pós-operatório e maior é a gravidade do edema cornea-

no encontrado, enquanto a espessura central da córnea e a densidade celular endotelial corneana não estiveram associadas a gravidade do edema corneano no pós-operatório, $p = 0.34$ e $p = 0.11$, respectivamente.

Descritores: Edema Corneano; Facoemulsificação; Cirurgia de Catarata; Endotélio Corneano.

Abstract

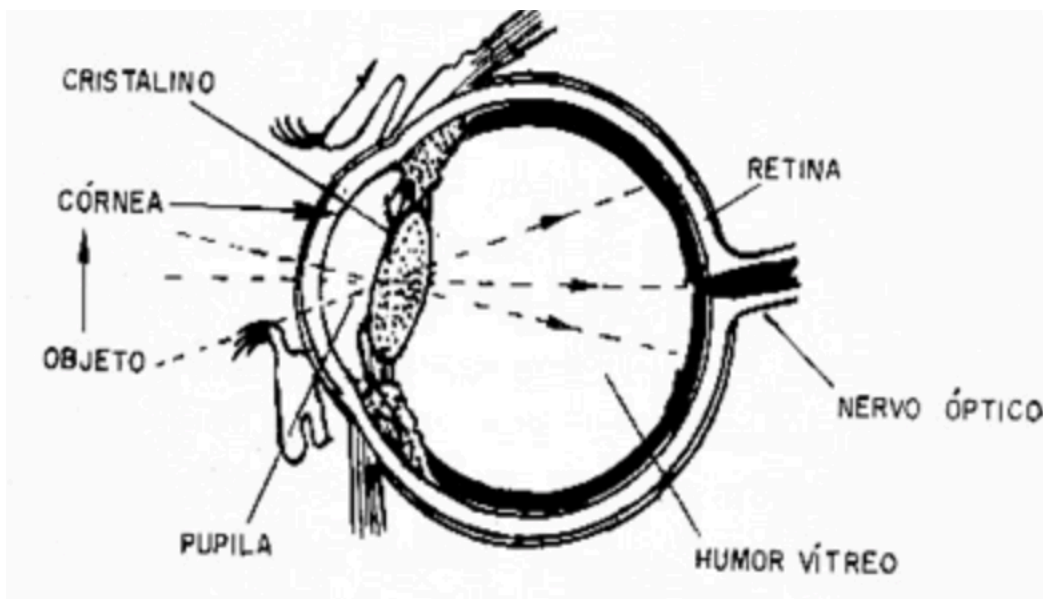
Introduction: The Cornea is a transparent convex structure with high refractive power. It differs from the sclera by the degree of hydration and the arrangement of collagen fibers. Although it is avascular, which guarantees its transparency, it is richly innervated by fibers from the ophthalmic branch of the trigeminal nerve. Corneal edema is caused by excessive hydration of the cornea, which affects light transmission, refraction, transparency and, consequently, visual performance. The most common cause of edema is phacoemulsification with intraocular lens implantation, which is the most commonly performed surgery in the world for the treatment of cataracts. Factors that may be associated with postoperative corneal edema are: low corneal endothelial cell density (CED), high central corneal thickness (CCE), degree of cataract, effective ultrasound power time, among others. The purpose of this study was to evaluate the influence of ECC, and secondarily of DEC and time of ultrasound use on postoperative corneal edema. **Methods:** Observational study, covering one hundred patients with grade 2 (N2) nuclear cataracts who underwent the phaco-chop fracture technique. To evaluate the influence of the variables ECC, DEC and time of ultrasound use on postoperative corneal edema, patients were divided into groups according to the presence of corneal edema (yes and no) and the edema classification (0, 1, two). **Results:** In the study sample, the only associated factor was the effective ultrasound power time ($p < 0.0001$), with 52% of patients presenting corneal edema in the immediate postoperative period, with a median ultrasound usage time equal to 36 seconds. **Conclusion:** The results suggest that the longer the time ultrasound is used in surgery, the greater the chance of developing corneal edema postoperatively and the greater the severity of the corneal edema found,

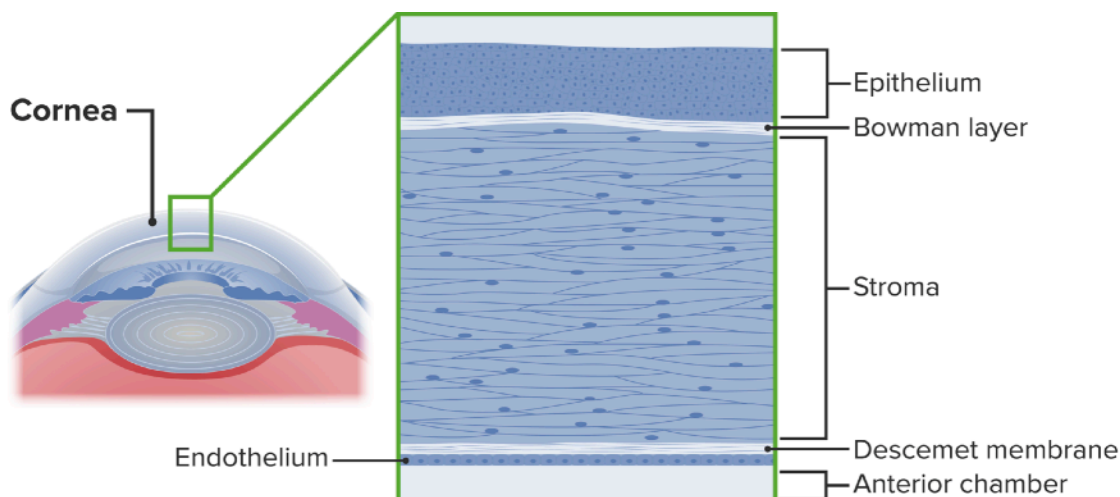
while the central corneal thickness and endothelial cell density corneal edema were not associated with the severity of postoperative corneal edema, $p = 0.34$ and $p = 0.11$, respectively.

Key-words: Corneal Edema; Phacoemulsification; Cataract Surgery; Corneal Endothelium.

Introdução

A Córnea é uma estrutura convexa transparente com alto poder refrativo ($\approx 40D$), localizada no 1/6 anterior do olho¹. Continua posteriormente com a esclera, diferenciando-se pelo grau de hidratação e pela disposição das fibras de colágeno. Embora seja avascular, o que garante sua transparência, é ricamente inervada por fibras do ramo oftálmico do nervo trigêmeo (N.C. VI)¹. Sua nutrição se dá por difusão de nutrientes e oxigênio provenientes dos vasos perilímbricos, do humor aquoso e do filme lacrimal¹. Histologicamente, subdivide-se em 5 camadas: epitélio corneano, membrana de Bowman, estroma, membrana de Descemet e endotélio¹.





A transparência da córnea é influenciada por cinco fatores principais: evaporação da lágrima, função de barreira do epitélio e endotélio, pressão de edema do estroma, bomba endotelial e pressão intraocular (PIO)¹. A córnea é delimitada externamente pelo epitélio e internamente pelo endotélio, que estão em contato com o filme lacrimal e o humor aquoso, respectivamente, ambos os tecidos desempenham um papel de barreira e mantêm o estroma adequadamente hidratado¹. O estroma é composto de fibrilas de colágeno envoltas em glicosaminoglicanos e mucopolissacarídeos regularmente espaçados que tendem a absorver líquidos e inchar¹. As células epiteliais e endoteliais estão intimamente envolvidas na regulação da circulação de fluidos e eletrólitos no estroma¹. Portanto, para evitar o excesso de hidratação pelo filme lacrimal ou humor aquoso, as camadas epitelial e endotelial devem atuar como bloqueios que possam regular a troca de água no estroma para que este seja devidamente hidratado¹.

O edema corneano é causado pela hidratação excessiva do estroma corneano, e pode afetar, acima de 90%, a transmissão da luz, a refração, a transparência e o desempenho visual¹. A causa mais comum é a facoemulsificação com implante de lente intra-

ocular (LIO), que é a cirurgia mais realizada no mundo para o tratamento de catarata, nesse caso o edema ocorre devido à perda de células endoteliais durante a cirurgia, alterando a função da barreira ou da bomba endotelial¹. As células endoteliais contêm bombas especializadas de Na⁺/K⁺-ATPase que usam oxigênio e energia para manter a córnea clara e transparente². Estas bombas movem o líquido para fora do estroma, a fim de manter o teor de água abaixo de 78%, enquanto as junções estreitas das células endoteliais formam uma barreira que impede o fluido de entrar para a córnea². Como as células endoteliais não se replicam, após a lesão, as células adjacentes aumentam e se espalham para cobrir a área afetada, resultando em menor densidade celular e hexagonalidade².

Conforme o estudo de Jing Z, Hao J, Sun L, et al, é necessário um mínimo de 500 células/mm² para manter a transparência da córnea³. A microscopia especular é usada para medir esses parâmetros das células endoteliais, mas só é eficaz no 1mm² central da córnea e não pode ser usada para avaliar todas as camadas da córnea para determinar o grau de edema corneano³.

Durante a facoemulsificação ocorre estresse mecânico devido a energia do ultrassom, danificando as células endoteliais¹. Tempos cirúrgicos prolongados também podem causar mais estresse, por exemplo, devido a dificuldades intraoperatórias na extração de um cristalino denso². Outros fatores que levam ao estresse excessivo dos tecidos incluem profundidade estreita da câmara anterior, que aumenta o risco de contato com o endotélio da córnea, bem como razões acidentais, como má cooperação ou mo-

vimento do paciente². Além disso, a resolução do edema depende da gravidade do trauma².

Outras causas do edema da córnea são classificadas de acordo com fatores diretamente relacionados ao paciente (baixa densidade de células endoteliais, grau da catarata, profundidade rasa da câmara anterior), ao procedimento cirúrgico (método de extração do núcleo, tempo efetivo de potência do ultrassom para extração do cristalino, tipo de viscoelástico utilizado, perda de vítreo e ruptura da cápsula posterior), ou ao implante de lente intraocular (irite crônica, glaucoma secundário, sinéquias anteriores periféricas, subluxação de LIO)^{1,4}.

Substâncias viscoelásticas são rotineiramente utilizadas em cirurgias de catarata e procedimentos do segmento anterior para evitar complicações, pois possuem efeito protetor do endotélio corneano³. Como as substâncias viscoelásticas são atóxicas, não pirogênicas e não inflamatórias e têm a mesma osmolaridade que a córnea ou o fluido aquoso, elas não devem interferir no metabolismo normal do tecido intraocular ou na PIO³. O contato com uma solução hipo-osmótica causa ruptura das junções intercelulares e edema intracelular, resultando em embebição excessiva de fluidos no estroma e edema da córnea⁵. No entanto, o edema da córnea também pode ser devido a uma ruptura da barreira epitelial⁵. Edema epitelial pode ocorrer se anestésicos locais excessivos ou vibração de ultrassom forem usados durante a facoemulsificação⁵. A integridade das camadas epitelial e endotelial é crítica para manter a capacidade de retirar o excesso de líquido da córnea e uma hidratação equilibrada do estroma⁵.

A paquimetria tornou-se o meio mais comum de detectar e diagnosticar edema corneano com base na espessura central da córnea (ECC), juntamente com exame subjetivo com lâmpada de fenda, sugerindo que um aumento acima de 10% da paquimetria original é um indicador de edema⁷. Assim, para uma ECC média de 550 micra, um aumento de 10%, que é de 605 micra, após a cirurgia de catarata seria indicativo de edema corneano⁷. Devido à forte correlação entre a ECC e a perda de células endoteliais após cirurgia de catarata que foi documentada na literatura, a paquimetria emergiu como o padrão ouro quando ocorre edema da córnea⁷.

Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi avaliar a influência da espessura central da córnea, da densidade celular endotelial corneana, do tempo de uso do ultrassom, e da classificação de catarata LOCS III no edema corneano após a cirurgia de catarata.

Metodologia

Desenho do estudo

Foi realizado um estudo observacional do tipo transversal por meio do prontuário eletrônico Tasy®, dos pacientes submetidos a cirurgia de facoemulsificação, entre o período de Junho a Dezembro de 2023, no serviço de Cirurgia Ocular São Cristóvão (COSC-Opty).

Os critérios de inclusão foram: (a) pacientes com catarata N2 pela classificação LOCS III submetidos a facoemulsificação com implante de LIO; e (b) que foram avaliados quanto ao edema corneano no primeiro dia de pós-operatório. Foram excluídos pacientes com córnea descompensada (ECC >600 micra) ou contagem de células endoteliais corneanas menor que 1000 e também pacientes com prontuários incompletos, onde a ausência de dados específicos impossibilitariam a análise.

Técnica cirúrgica

Todas as cirurgias foram realizadas pelo mesmo cirurgião, utilizando a técnica *pacho-chop*, com o mesmo aparelho facoemulsificador (Laureate), microscópio Zeiss e ultrassom no modo Burst com potência de 50%, sendo a taxa de irrigação 95 cm, a taxa de aspiração 40 e o vacum 400. O uso do ultrassom foi limitado ao tempo máximo de 60 segundos.

Todos os pacientes foram submetidos a uma cirurgia com incisão corneana de 2,75 mm, com capsulorrexia circular e contínua, hidrodissecção, implante da LIO no

saco capsular e hidratação da incisão. Em todas as cirurgias, antes da capsulorrexis, da façoemulsificação e do implante da LIO, foi utilizado como viscoelástico a 2%.

Extração dos dados e análise estatística

Os seguintes dados foram extraídos dos prontuários e registros cirúrgicos: classificação de catarata LOCS III, paquimetria corneana pré-operatória, microscopia especular da córnea pré-operatória, tempo de uso do ultrassom na cirurgia de catarata, e classificação do edema corneano no primeiro dia de pós-operatório pela biomicroscopia na lâmpada de fenda, exame feito sempre pelo mesmo examinador, que não teve conhecimento da ECC pré operatória.

Após a extração dos dados, foi realizado o teste de Kolmogorov–Smirnov para confirmação da normalidade dos dados numéricos e uma análise descritiva das características dos pacientes incluídos no estudo, sendo as variáveis contínuas com distribuição normal expressas em média \pm desvio-padrão e as variáveis categóricas expressas em números absolutos e porcentagens. As variáveis numéricas que não seguiam a distribuição normal foram expressas em mediana e intervalo interquartil.

Posteriormente, para avaliar a influência das variáveis: espessura central da córnea, densidade celular endotelial corneana e tempo de uso do ultrassom, no edema corneano após a cirurgia de catarata, os pacientes foram divididos em grupos de acordo com a presença do edema corneano (sim e não) e a classificação do edema (0, 1, 2). As comparações das variáveis numéricas com distribuição normal entre os grupos foram realizadas por meio dos testes paramétricos T de Student e ANOVA, enquanto as com-

parações das variáveis numéricas sem distribuição normal entre os grupos foram conduzidas pelos testes não paramétricos de Mann-Whitney e Kruskal-Wallis. As variáveis categóricas foram comparadas por meio do teste Qui-quadrado ou Teste Exato de Fisher. Em todas as análises foi considerado o nível de significância $< 0,05$ e todos os dados foram analisados no programa STATA 17 (StataCorp LLC, College Station, USA).

Resultados

Cem pacientes preencheram todos os critérios de inclusão e foram analisados retrospectivamente nesse estudo. A paquimetria corneana pré-operatória média em micra foi igual a 514.51, sendo 2536.57 a média do número de células endoteliais corneanas na microscopia especular pré-operatória (Tabela 1).

Em relação ao uso do ultrassom, o tempo efetivo de potência do ultrassom apresentou uma mediana de 22 segundos, variando de 7 a 57 segundos entre os casos. No pós-operatório, o edema corneano foi encontrado em 52 casos, sendo o grau 1 mais frequente (28%). Nenhum paciente apresentou edema grau 3 ou 4. Todas as características dos pacientes incluídos estão sintetizadas na Tabela 1.

Em relação a presença do edema corneano no pós-operatório, o único fator associado foi o tempo efetivo de potência do ultrassom ($p < 0.0001$), sendo a mediana do tempo efetivo de potência do ultrassom no grupo sem edema e no grupo com edema, respectivamente, 15 e 36 segundos, ou seja, os pacientes que apresentaram edema foram submetidos ao dobro de energia ultrassônica durante a cirurgia (Tabela 2). A espessura central da córnea ($p = 0.94$) e a densidade celular endotelial corneana ($p = 0.92$) não estiveram associadas a presença do edema no pós-operatório (Tabela 2).

Quanto aos fatores associados a gravidade do edema corneano pós-operatório investigados, o tempo efetivo de potência do ultrassom também apresentou um resultado estatisticamente significativo ($p = 0.0001$), sendo que a mediana do tempo de uso do

ultrassom na cirurgia nos grupos edema 0, 1 e 2, respectivamente, 15, 26 e 43 segundos (Tabela 3). Por outro lado, a espessura central da córnea e a densidade celular endotelial corneana não estiveram associadas a gravidade do edema corneano no pós-operatório em nossa amostra, $p = 0.34$ e $p = 0.11$, respectivamente (Tabela 3).

Discussão

Nesse estudo observacional, que incluiu cem pacientes com catarata N2 submetidos a técnica *phaco-chop*, com 22 segundos de mediana de uso do ultrassom durante a cirurgia, 52% dos pacientes apresentaram edema corneano no primeiro dia de pós-operatório. O tempo efetivo de potência do ultrassom durante a cirurgia esteve associado a presença e a gravidade do edema corneano pós-operatório. Logo, os resultados sugerem que quanto maior o tempo de uso do ultrassom na cirurgia, maior é a chance de desenvolver edema corneano no pós-operatório, e maior é a gravidade do edema corneano encontrado.

O edema da córnea está relacionado à perda de células endoteliais durante a facoemulsificação, causada pela disfunção da bomba endotelial ou da barreira¹. As células endoteliais abrigam bombas especializadas de Na⁺/K⁺-ATPase, que utilizam oxigênio e energia para manter a transparência da córnea⁸. Essas bombas removem o fluido do estroma, mantendo o teor de água abaixo de 78%, enquanto as junções estreitas das células endoteliais formam uma barreira que impede o fluxo de fluido para a córnea⁸. Como as células endoteliais não se replicam, após lesões, as células adjacentes aumentam e se espalham para cobrir a área afetada, resultando em menor DEC e maior hexagonalidade⁸. A literatura sugere a necessidade de um mínimo de 500 células/mm² para manter a transparência da córnea¹.

O excesso de energia na facoemulsificação danifica as células endoteliais⁹. Tempos cirúrgicos prolongados também podem causar estresse, como dificuldades intraope-

ratórias na extração de um cristalino denso⁹. Outros fatores que contribuem para o estresse excessivo nos tecidos incluem profundidades estreitas da câmara anterior, aumentando o risco de contato com o endotélio da córnea, bem como fatores acidentais, como má cooperação ou movimento do paciente¹⁰. Além disso, a resolução do edema depende da gravidade do trauma⁸.

Danos penetrantes podem ser irreversíveis devido à perda de células endoteliais, prejudicando a função de bombeamento e resultando em inchaço do estroma ou ceratopatia bolhosa em casos graves¹. O estresse mecânico intraoperatório pode ser causado por trauma no endotélio da córnea⁹. O edema traumático ocorre quando há inchaço pós-cirúrgico devido ao estresse excessivo no tecido da córnea ou razões acidentais¹¹. A espessura central da córnea não pode ser usada para avaliar todas as camadas para determinar o grau de edema corneano⁸. A microscopia especular é eficaz apenas no primeiro milímetro para medir esses parâmetros das células endoteliais⁸.

Em procedimentos cirúrgicos como a facoemulsificação, que é a intervenção intraocular mais amplamente realizada no mundo, o estresse mecânico pode ser desencadeado por vários fatores, incluindo a técnica cirúrgica empregada, as características dos materiais utilizados (em termos de tamanho e formato), a densidade do núcleo, os medicamentos administrados durante a cirurgia e a experiência do cirurgião¹².

Substâncias viscoelásticas são rotineiramente empregadas em cirurgias de catarata e procedimentos do segmento anterior para prevenir complicações, pois oferecem proteção ao endotélio da córnea¹³. Essas substâncias são classificadas em coesivas e

dispersivas, sendo as últimas consideradas mais eficazes na prevenção de danos endoteliais durante a cirurgia de catarata¹⁴. No entanto, é importante destacar que o edema da córnea também pode resultar de uma ruptura na barreira epitelial¹⁵. O edema epitelial pode ocorrer se for usado muitos anestésicos locais ou se vibrações em excesso do ultrassom forem aplicados durante a facoemulsificação¹¹. A integridade das camadas epitelial e endotelial é crucial para manter a desidratação da córnea e um equilíbrio adequado de hidratação no estroma⁸.

É relevante observar que, devido às suas propriedades atóxicas, apirogênicas e não inflamatórias, juntamente com a osmolalidade semelhante à córnea ou ao fluido aquoso, as substâncias viscoelásticas não devem interferir no metabolismo normal do tecido intraocular ou na PIO^{16,17}. O contato com soluções hiposmóticas, por outro lado, pode resultar na ruptura das junções intercelulares e edema intracelular, levando à absorção excessiva de fluidos no estroma e, conseqüentemente, ao edema da córnea^{16,17}.

A paquimetria surgiu como o método predominante para detectar e diagnosticar o edema corneano, utilizando a ECC como referência⁸. Devido à evidente correlação entre a espessura corneana total e a perda de células endoteliais após a cirurgia de catarata, conforme documentado na literatura, a paquimetria se consolidou como o padrão-ouro para identificar o edema corneano¹⁸.

Assim, considerando uma ECC média de 550 micra, um aumento de 10%, totalizando 605 micra após a facoemulsificação, seria indicativo de edema corneano^{1,8}. No entanto, alguns estudos levantam a possibilidade de que esse parâmetro possa negligenciar

ciar casos de inchaço subclínico ou leve da córnea^{1,8}. Complementando a avaliação, o exame subjetivo com lâmpada de fenda sugere que um aumento superior a 10% em relação à paquimetria original é um indicador de edema^{1,8}.

Por outro lado, evidências provenientes de estudos recentes indicam que a tomografia de coerência óptica (OCT) representa uma ferramenta adicional para a avaliação objetiva do edema corneano^{1,18}. Desde o seu desenvolvimento, o OCT evoluiu para tornar-se uma ferramenta essencial na prática clínica, especialmente o Swept-Source OCT, devido à sua capacidade de capturar imagens em profundidade e à rapidez necessária para obter imagens de alta resolução sem contato direto com o paciente^{1,18}. Além disso, a OCT pode mensurar de maneira objetiva as estruturas oculares e registrar características arquitetônicas, como largura, comprimento, espessura, alinhamento e lacunas na incisão corneana, atributos particularmente relevantes na facoemulsificação com incisão manual¹⁸.

A OCT também possibilita que oftalmologistas avaliem de forma objetiva a evolução da incisão corneana ou da espessura da córnea pós-cirurgia, entre outros fatores intraoperatórios, dada sua forte correlação com o desenvolvimento de edema^{1,18}. Além disso, alguns autores buscaram classificar o edema com base na opacidade do estroma utilizando a unidade de densitometria do aparelho, revelando uma correlação significativa entre densidade óptica, paquimetria e acuidade visual corrigida^{1,18}. Em "Phacoemulsification associated corneal damage evaluated by corneal volume", sugere-se a utilização do volume corneano medido pelo Pentacam para avaliar o dano às células endoteliais da córnea após a facoemulsificação, considerando que a DEC pode representar

apenas uma fração da lesão infligida nesta camada, sendo insuficiente para retratar adequadamente as alterações em toda a córnea¹⁹.

Contrastando com essas afirmações, Zéboulon et al. encontraram uma boa correlação entre OCT e Pentacam como indicadores de edema em córneas normais usando mapas de paquimetria, porém destacam a possibilidade de esses dois dispositivos apresentarem desempenho inferior em córneas mais finas ou mais espessas, bem como em casos de inchaço subclínico ou leve da córnea²⁰. Em consonância, alguns autores apontam que o limite para a espessura da córnea é estabelecido em 650 μm devido ao uso de algoritmos do dispositivo que empregam o índice de refração para calcular a espessura, assegurando assim medições confiáveis²⁰. No entanto, esse limite pode ser desvantajoso para casos de edema corneano grave com opacidades detectadas por paquimetria ultrassônica ou Pentacam^{19,20}.

Ishikawa et al. sugeriram, em contraste com outros estudos, que a presença de edema corneano não impacta a acuidade visual, embora possam persistir sintomas visuais¹⁸. Adicionalmente, os autores indicaram a necessidade de mais pesquisas para determinar se o índice de refração da córnea se altera devido ao aumento da hidratação durante o processo de inchaço¹⁸. Observaram que, mesmo em casos de edema corneano, os tecidos da córnea são afetados em graus diversos⁸. A correlação direta entre o índice de refração e a absorção de líquido estromal durante o inchaço corneano sugere que as mudanças nesse índice não podem ser totalmente explicadas apenas por alterações na espessura da córnea^{8,18-20}.

Contrariamente, Meek et al. constataram que o índice de refração pode se modificar devido à hidratação, levando à conclusão lógica de que o índice de refração da córnea se altera durante o edema corneano, seguindo a lei de Gladstone e Dale²¹. Além disso, Díez-Ajenjo et al. demonstraram que, mesmo na ausência de mudanças nos raios da córnea, ocorrem alterações refrativas cujos mecanismos subjacentes não são claros e não são conhecidos²².

Alguns estudos indicaram que a qualidade da visão melhora progressivamente com o tempo, à medida que a transparência da córnea aumenta durante a redução do processo de inchaço^{8,9}. O edema corneano resulta em uma diminuição geral nas frequências espaciais, ocasionando uma notável perda de acuidade visual em condições de baixa luminosidade, associada à redução da transparência e ao aumento da dispersão da luz em pacientes com inchaço corneano^{8,9,19,21}. No entanto, De Juan et al. destacaram que mudanças refrativas significativas ocorrem na primeira semana após a cirurgia de catarata e se estabilizam nas semanas subsequentes²³. Eles também observaram que o edema corneano induz uma alteração hipermetrópica devido ao inchaço inicial, embora esse efeito diminua nas primeiras duas semanas e evolua para miopia à medida que o edema diminui, aproximando-se idealmente da emetropia²³.

O edema de córnea representa o efeito colateral mais comum de procedimentos cirúrgicos oculares, com uma prevalência relatada por alguns autores entre 6,2% e 11,3%^{8,9,12}. Essa condição é mais frequentemente observada após intervenções como facoemulsificação ou ceratoplastia^{8,9,12}. Os fatores de risco pré-operatórios para a facoemulsificação incluem baixa DEC, recomendando-se que essa DEC seja sempre superi-

or a 1.000 células/mm², e espessura da córnea, que deve ser inferior a 640 µm⁸. Durante a facoemulsificação, precauções devem ser tomadas para evitar o desenvolvimento de edema corneano, o que pode ser desencadeado por facoemulsificantes traumáticos, dureza do cristalino, profundidades curtas da câmara anterior, fragmentos retidos do cristalino, soluções de irrigação e suas temperaturas, tempo de uso da energia do ultrassom, inserção da LIO e a experiência do cirurgião, especialmente em pacientes com pseudoexfoliação ou histórico de dano endotelial prévio^{8,9,12}.

O edema traumático é caracterizado como aquele que se desenvolve após uma cirurgia, como a cirurgia de catarata, resultante de uma tensão excessiva no tecido ou por razões incidentais^{3,8}. A gravidade do trauma influencia a resolução do edema^{3,8}. Assim, a perda de células endoteliais pode resultar em danos penetrantes irreversíveis, prejudicando a função de bombeamento dessa camada e, em casos graves, ocasionando inchaço do estroma ou ceratopatia bolhosa^{3,8}.

A técnica de facoemulsificação, como previamente mencionado, desempenha um papel crucial no desenvolvimento do edema corneano^{3,8}. Algumas fontes indicam que a cirurgia de catarata por microincisão resulta em uma incisão corneana menor, demonstrando uma redução no desalinhamento da ferida e uma preservação mais cuidadosa da integridade da córnea após o procedimento de remoção da catarata^{3,8}. No entanto, há argumentos de outros autores afirmando que não há diferenças significativas nesses parâmetros entre a microincisão e a facoemulsificação convencional¹. Esses autores observaram uma menor incidência de alterações na perda de células endoteliais da córnea,

nos parâmetros paquimétricos e no edema corneano a curto prazo, bem como menos aberrações corneanas induzidas a longo prazo^{1,9}.

Adicionalmente, a literatura relata que o método de cirurgia de catarata, juntamente com as técnicas de fratura e extração do núcleo, influenciam o surgimento do edema corneano pós-operatório^{3,8}. Pesquisas recentes indicam que tanto a facoemulsificação quanto a cirurgia extracapsular de catarata, especificamente a cirurgia manual de catarata com pequenas incisões, são procedimentos seguros e eficazes para restaurar o desempenho visual ideal em pacientes com catarata^{3,8}. As técnicas de extração por facoemulsificação, como por exemplo a *phaco-chop*, têm como objetivo desintegrar o núcleo por meio de força mecânica, utilizando a energia liberada pela ponteira enquanto esta penetra no cristalino, seguido pela aspiração dos resíduos do córtex²⁴.

Algumas dessas técnicas têm demonstrado vantagens em termos de potência do ultrassom e tempo efetivo de facoemulsificação, resultando em menor perda de células endoteliais²⁴⁻²⁶. Diante desse cenário, esses métodos foram adaptados para enfrentar o desafio representado por cataratas densas durante o processo cirúrgico de catarata²⁴⁻²⁶. Zhao et al. investigaram especificamente essa questão, comparando a extração de núcleo com *reverse chopper* em cataratas densas com a técnica convencional *stop-and-chop* nas mesmas condições²⁷. O *reverse chopper* demandou menos energia e tempo de uso do ultrassom comparado a técnica *stop-and-chop*, resultando em nenhuma liberação de energia ultrassônica e, conseqüentemente, causando menos danos às células endoteliais, com uma menor incidência de edema corneano após a cirurgia de catarata²⁷. Em nosso estudo, todos os pacientes foram submetidos a técnica *phaco-chop*. Embora al-

guns estudos tenham falhado em demonstrar diferença significativa na perda endotelial entre as técnicas *phaco-chop* e *stop-and-chop*, outros estudos mostraram que a técnica *phaco-chop* requer menor energia de ultrassom para o manejo nuclear do que a técnica *stop-and-chop* em cataratas densas, sendo a energia e o tempo de uso do ultrassom fatores importantes para o desenvolvimento do edema corneano²⁴⁻²⁶.

O edema epitelial pode se manifestar quando anestésicos tópicos ou energia de vibração ultrassônica são utilizados de forma excessiva durante o procedimento de facoemulsificação⁸. Cirurgias prolongadas podem levar ao descolamento da membrana de Descemet, resultando em edema estromal. Essa hiperidratação induz um estado hipertônico que impacta diretamente a eficiência da bomba endotelial, podendo explicar a suscetibilidade de pacientes com glaucoma ao desenvolvimento de inchaço corneano após a facoemulsificação¹. Baixa DEC ou câmaras anteriores rasas também foram identificadas como fatores de risco para o surgimento de edema pós-operatório. Em todas essas circunstâncias, uma avaliação pré-operatória abrangente é essencial. Ademais, variações abruptas na PIO podem ocasionar um aumento no volume do estroma devido à absorção excessiva de líquido⁹.

O tratamento variará conforme a etiologia, buscando eliminar a patologia subjacente, se possível. O tratamento convencional para a inflamação do segmento anterior e, conseqüentemente, o edema da córnea decorrente de inflamação ou infecção, envolve o uso de corticosteroides tópicos⁸. Durante o processo inflamatório, ocorre a linfangiogênese, que é a inibição da proliferação de células endoteliais linfáticas. Os glicocorticoides inibem a linfangiogênese da córnea, suprimindo o surgimento de citocinas pró-in-

flamatórias, a infiltração de macrófagos e a proliferação de células endoteliais linfáticas⁸. Sriram e Tai descobriram que o aumento da PIO leva à acumulação de fluidos intercelulares dentro da córnea, resultando em edema epitelial²⁸. Apesar disso, pesquisas recentes indicam que o Loteprednol, um corticosteroide moderno, é uma opção segura devido ao seu baixo impacto na PIO, embora seja contraindicado em infecções virais, fúngicas ou micobacterianas²⁸. As flutuações na PIO, tanto aumento quanto diminuição, alteram a pressão no estroma, resultando no aumento da embebição, inchaço da córnea e aumento da espessura corneana, o que pode influenciar a precisão das medições da Tonometria de Aplanção de Goldmann²⁸. Corticosteroides, como a dexametasona, devem ser utilizados com cautela em pacientes com valores elevados de PIO e baixa penetração na câmara anterior, pois foi demonstrado que podem aumentar a PIO em 10 mmHg ou mais nesses pacientes²⁸. Além disso, algumas pesquisas sugerem que os corticosteroides podem ativar a função da bomba endotelial, prevenindo, assim, o edema da córnea²⁸.

Um inibidor da anidrase carbônica, prescrito quando há elevação da PIO, é utilizado para evitar o desenvolvimento de edema corneano, reduzindo a PIO^{1,8}. A inibição da bomba de anidrase carbônica pode afetar diretamente o estroma, diminuindo o fluxo desta camada para a câmara anterior e resultando em hiperidratação do estroma, especialmente em olhos com função endotelial comprometida⁸. A anidrase carbônica, em conjunto com a bomba Na⁺/K⁺-ATPase, produz um tampão de pH que, por meio de um gradiente osmótico de lactato, expulsa a água do estroma para o humor aquoso^{1,8}.

As soluções hipertônicas, também conhecidas como soluções hiperosmolares, buscam retirar fluidos da córnea, causando desidratação através do gradiente osmóti-

co²⁸. Elas aumentam a tonicidade do filme lacrimal no edema epitelial da córnea, restaurando a transparência²⁸. Para alcançar esse efeito, é necessário que o epitélio esteja íntegro e funcionando corretamente, visto que atua como uma membrana semipermeável que permite apenas a passagem de água, mantendo os eletrólitos na córnea. Isso evita que os solutos penetrem completamente ou apenas parcialmente no epitélio, atraindo água difusível das bolhas e impedindo a hiperidratação do estroma²⁸.

As principais limitações deste estudo incluem: (1) o desenho observacional transversal retrospectivo; (2) a ausência de grupo controle, randomização e cegamento, que poderiam reduzir o viés; e (3) a falta de acompanhamento a longo prazo. No entanto, apesar dessas limitações, o grande número de casos incluídos nesta amostra e a análise estatística robusta reforçam os resultados deste estudo.

Conclusão

Neste estudo observacional transversal retrospectivo, abrangendo cem pacientes com catarata N2 submetidos à técnica *phaco-chop*, constatou-se que 52% dos pacientes manifestaram edema corneano no pós-operatório, porém a espessura central da córnea e a densidade celular endotelial corneana não estiveram associadas a presença desse edema. Em relação ao tempo de ultrassom houve uma associação estatisticamente significativa. Esses achados enfatizam a importância do controle rigoroso do tempo de exposição ao ultrassom como um fator determinante na ocorrência e na severidade do edema corneano após cirurgias de catarata.

Referências:

1. Briceno-Lopez C, Burguera-Giménez N, García-Domene MC, Díez-Ajenjo MA, Peris-Martínez C, Luque MJ. Corneal Edema after Cataract Surgery. *J Clin Med*. 2023;12(21):6751. doi:10.3390/jcm12216751
2. Saxena R, Boekhoorn SS, Mulder PGH, Noordzij B, van Rij G, Luyten GPM. Long-term follow-up of endothelial cell change after Artisan phakic intraocular lens implantation. *Ophthalmology*. 2008;115(4):608-613.e1. doi:10.1016/j.ophtha.2007.05.036
3. Jing Z, Hao J, Sun L, et al. Analysis of influencing factors of corneal edema after phacoemulsification for diabetic cataract. *Cell Mol Biol (Noisy-le-grand)*. 2023;69(4):164-171. doi:10.14715/cmb/2023.69.4.26
4. Yamazoe K, Yamaguchi T, Hotta K, et al. Outcomes of cataract surgery in eyes with a low corneal endothelial cell density. *J Cataract Refract Surg*. 2011;37(12):2130-2136. doi:10.1016/j.jcrs.2011.05.039
5. Lahme L, Baydoun L, Glitz B, Uhlig CE, Eter N, Alnawaiseh M. [Persisting corneal edema after uncomplicated cataract surgery]. *Ophthalmologe*. 2020;117(8):802-805. doi:10.1007/s00347-020-01041-5
6. Pricopie S, Istrate S, Voinea L, Leasu C, Paun V, Radu C. Pseudophakic bullous keratopathy. *Rom J Ophthalmol*. 2017;61(2):90-94. doi:10.22336/rjo.2017.17
7. Perone JM, Boiche M, Lhuillier L, et al. Correlation Between Postoperative Central Corneal Thickness and Endothelial Damage After Cataract Surgery by Phacoemulsification. *Cornea*. 2018;37(5):587-590. doi:10.1097/ICO.0000000000001502

8. Sharma N, Singhal D, Nair SP, Sahay P, Sreeshankar SS, Maharana PK. Corneal edema after phacoemulsification. *Indian J Ophthalmol.* 2017;65(12):1381-1389. doi:10.4103/ijo.IJO_871_17
9. Beesley RD, Olson RJ, Brady SE. The effects of prolonged phacoemulsification time on the corneal endothelium. *Ann Ophthalmol.* 1986;18(6):216-219, 222.
10. Bamdad S, Bolkheir A, Sedaghat MR, Motamed M. Changes in corneal thickness and corneal endothelial cell density after phacoemulsification cataract surgery: a double-blind randomized trial. *Electron Physician.* 2018;10(4):6616-6623. doi:10.19082/6616
11. Hayashi K, Hayashi H, Nakao F, Hayashi F. Risk factors for corneal endothelial injury during phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg.* 1996;22(8):1079-1084. doi:10.1016/s0886-3350(96)80121-0
12. Bourne RRA, Minassian DC, Dart JKG, Rosen P, Kaushal S, Wingate N. Effect of cataract surgery on the corneal endothelium: modern phacoemulsification compared with extracapsular cataract surgery. *Ophthalmology.* 2004;111(4):679-685. doi:10.1016/j.opht.2003.07.015
13. Malvankar-Mehta MS, Fu A, Subramanian Y, Hutnik C. Impact of Ophthalmic Visco-surgical Devices in Cataract Surgery. *J Ophthalmol.* 2020;2020:7801093. doi:10.1155/2020/7801093
14. Arshinoff SA, Jafari M. New classification of ophthalmic viscosurgical devices--2005. *J Cataract Refract Surg.* 2005;31(11):2167-2171. doi:10.1016/j.jcrs.2005.08.056
15. Storr-Paulsen A, Nørregaard JC, Farik G, Tårnhøj J. The influence of viscoelastic substances on the corneal endothelial cell population during cataract surgery: a prospec-

tive study of cohesive and dispersive viscoelastics. *Acta Ophthalmol Scand.* 2007;85(2):183-187. doi:10.1111/j.1600-0420.2006.00784.x

16. Kiss B, Findl O, Menapace R, et al. Corneal endothelial cell protection with a dispersive viscoelastic material and an irrigating solution during phacoemulsification: low-cost versus expensive combination. *J Cataract Refract Surg.* 2003;29(4):733-740. doi:10.1016/s0886-3350(02)01745-5

17. Borkenstein AF, Borkenstein EM, Malyugin B. Ophthalmic Viscosurgical Devices (OVDs) in Challenging Cases: a Review. *Ophthalmol Ther.* 2021;10(4):831-843. doi:10.1007/s40123-021-00403-9

18. Ishikawa S, Kato N, Takeuchi M. Quantitative evaluation of corneal epithelial edema after cataract surgery using corneal densitometry: a prospective study. *BMC Ophthalmology.* 2018;18(1):334. doi:10.1186/s12886-018-0998-5

19. Suzuki H, Takahashi H, Hori J, Hiraoka M, Igarashi T, Shiwa T. Phacoemulsification associated corneal damage evaluated by corneal volume. *Am J Ophthalmol.* 2006;142(3):525-528. doi:10.1016/j.ajo.2006.04.024

20. Zéboulon P, Ghazal W, Gatinel D. Corneal Edema Visualization With Optical Coherence Tomography Using Deep Learning: Proof of Concept. *Cornea.* 2021;40(10):1267-1275. doi:10.1097/ICO.0000000000002640

21. Meek KM, Dennis S, Khan S. Changes in the refractive index of the stroma and its extrafibrillar matrix when the cornea swells. *Biophys J.* 2003;85(4):2205-2212. doi:10.1016/S0006-3495(03)74646-3

22. Díez-Ajenjo MA, Luque-Cobija MJ, Peris-Martínez C, Ortí-Navarro S, García-Domene MC. Refractive changes and visual quality in patients with corneal edema after cataract surgery. *BMC Ophthalmol.* 2022;22(1):242. doi:10.1186/s12886-022-02452-5

23. de Juan V, Herreras JM, Pérez I, et al. Refractive Stabilization and Corneal Swelling After Cataract Surgery. *Optometry and Vision Science*. 2013;90(1):31. doi:10.1097/OPX.0b013e318278fc44
24. Can I, Takmaz T, Cakici F, Ozgül M. Comparison of Nagahara phaco-chop and stop-and-chop phacoemulsification nucleotomy techniques. *J Cataract Refract Surg*. 2004;30(3):663-668. doi:10.1016/j.jcrs.2003.06.006
25. Park JH, Lee SM, Kwon JW, et al. Ultrasound energy in phacoemulsification: a comparative analysis of phaco-chop and stop-and-chop techniques according to the degree of nuclear density. *Ophthalmic Surg Lasers Imaging*. 2010;41(2):236-241. doi:10.3928/15428877-20100303-13
26. Vajpayee RB, Kumar A, Dada T, Titiyal JS, Sharma N, Dada VK. Phaco-chop versus stop-and-chop nucleotomy for phacoemulsification. *J Cataract Refract Surg*. 2000;26(11):1638-1641. doi:10.1016/s0886-3350(00)00544-7
27. Zhao Y, Yang K, Li J, Zhu S. Comparison between the prechopping method with a reverse chopper and the routine stop-and-chop method in treating cataract with grade IV hard nucleus. *Journal Français d'Ophthalmologie*. 2018;41(4):315-320. doi:10.1016/j.jfo.2017.11.011
28. Sriram A, Tania Tai TY. Resolution of Chronic Corneal Edema After Surgical Treatment for Ocular Hypotony. *J Glaucoma*. 2017;26(6):e187-e189. doi:10.1097/IJG.0000000000000644

Tabelas

Tabela 1. Características Basais dos Pacientes Incluídos no Estudo

Pacientes Incluídos, Número	100
Técnica Cirúrgica, Número (%)	
Faco Chop	100 (100)
Classificação de Catarata LOCS III, Número (%)	
N2	100 (100)
Paquimetria Corneana Pré-operatória, Média ± DP em Microns	514.51 ± 48.53
Microscopia Especular da Córnea Pré-operatória, Média ± DP em Número de Células	2536.57 ± 392.93
Tempo Efetivo de Potência do Ultrassom, Mediana (Mínimo - Máximo) em Segundos	22 (7 - 59)
Edema Corneano Pós-operatório, Número (%)	
0	48 (48)
1	28 (28)
2	24 (24)

DP: desvio padrão.

Tabela 2. Investigação dos Fatores Associados a Presença do Edema Corneano

Variável	Edema Corneano Pós-operatório		p-valor
	NÃO (N = 48)	SIM (N = 52)	
Paquimetria Corneana Pré-operatória, Média ± DP em Microns	514.92 ± 48.29	514.13 ± 49.22	0.94
Microscopia Especular da Córnea Pré-operatória, Média ± DP em Número de Células	2540.7 ± 336.4	2532.7 ± 441.9	0.92
Tempo Efetivo de Potência do Ultrassom na Cirurgia, Mediana (Mínimo - Máximo) em Segundos	15 (7 - 47)	36 (8 - 59)	< 0.0001*

DP: desvio padrão; *: Estatisticamente Significativo.

Tabela 3. Investigação dos Fatores Associados a Gravidade do Edema Corneano

Variável	Edema Corneano Pós-operatório			p-valor
	0 (N = 48)	1 (N = 28)	2 (N = 24)	
Paquimetria Corneana Pré-operatória, Média ± DP em Microns	514.92 ± 48.29	521.21 ± 41.94	505.88 ± 56.34	0.342
Microscopia Especular da Córnea Pré-operatória, Média ± DP em Número de Células	2540.7 ± 336.4	2555.9 ± 409.5	2505.7 ± 484.7	0.111
Tempo Efetivo de Potência do Ultrassom na Cirurgia, Mediana (Mínimo - Máximo) em Segundos	15 (7 - 47)	26 (8 - 59)	43 (11 - 57)	0.0001*

DP: desvio padrão; *: Estatisticamente Significativo.