

História da cirurgia refrativa: córnea e catarata

Ricardo Guimarães | Marcia Reis Guimarães

Introdução

Podemos descrever a história e evolução da cirurgia refrativa e da catarata a partir de momentos diversos de sua trajetória por diferentes perspectivas e dependendo do ponto de referência ou atores que desejamos valorizar. A história é, geralmente, mais generosa com aqueles que aparecem no momento certo do reconhecimento da técnica ou da tecnologia, no dito momento da foto histórica e tende a esquecer-se daqueles responsáveis pelo desenvolvimento básico ou pela descoberta feita precocemente, quando os paradigmas eram ainda imaturos ou diferentes.

Harold Ridley, um caso típico, é reconhecido como o primeiro a implantar uma lente intraocular (LIO), apesar de sua contribuição ter sido repudiada na época, fazendo com que sofresse pela rejeição, tendo, inclusive, perdido sua posição no hospital em que trabalhava. O reconhecimento só viria décadas depois, quando Ridley já havia se aposentado, mas ainda em vida. O que é uma exceção, já que muitos outros só receberam esse reconhecimento após a morte. Há ainda os que recebem o reconhecimento em vida, porém são condenados após a morte, como Egas Muniz e sua lobotomia ou, pelo contrário, são reconhecidos após a morte. Em ciência, os valores e conceitos mudam de acordo com o momento histórico e a evolução do consensual coletivo que cada setor do conhecimento define. Como Max Planck disse, o avanço da ciência não vem do convencimento dos opositores aos novos conceitos que emergem, mas sim, porque esses morrem, abrindo espaço para uma nova geração que, livre dos antigos paradigmas, tem mais facilidade em aceitar a evolução. Em outras palavras, muito frequentemente o avanço da ciência depende de uma série de funerais. Mais recentemente Arthur Clarke, ficcionista científico, disse que, quando um cientista diz que algo é possível, estará quase sempre certo em algum momento futuro. Mas, quando se diz que algo é impossível, mais provavelmente está errado e será desmentido em algum momento do futuro.

Vivemos uma época áurea, de grandes avanços resultantes do desenvolvimento de novas tecnologias, do conhecimento da anatomia, da fisiologia e da tecnologia da informação, entre outros. Por outro lado, as mudanças de conceitos e de paradigmas têm sido tão rápidas e intensas que não é mais possível esperar por novos funerais para reconhecermos o novo. Aumenta assim a responsabilidade das sociedades científicas, dos líderes e cientistas pesquisadores em promover e fomentar os debates sobre a validade do novo, sem precipitar seu uso nem em se deixar conduzir por dogmas, rejeitando-o, ou abandonar o válido, porém imaturo. Fazendo uma retrospectiva pessoal, consigo me lembrar de vários momentos de minha vida em que me deixei levar por esse instinto automático de rejeição ao novo, porque ele não se encaixava dentro de meus paradigmas. O profissional de hoje deve ter em mente:

haverá limites para a evolução do conhecimento, para a evolução da técnica e da tecnologia? Pela velocidade com que avançamos hoje, certamente não, até mesmo porque quanto mais avançamos mais conhecemos a profundidade de nossa ignorância.

Nosso tópico se refere, especificamente, à cirurgia refrativa no cristalino (em caso de catarata e eventualmente na cirurgia da remoção do cristalino claro com objetivos refrativos) e na cirurgia refrativa da córnea. Sua evolução é muito importante para nós, pois essas cirurgias são atualmente as mais executadas no ser humano e as de maior impacto na qualidade de vida e no desempenho profissional das pessoas. Embora sua história possa ser datada de milênios, seu grande desenvolvimento aconteceu em um passado recente, de menos de meio século.

Depoimento pessoal

No meu curso de residência médica, ouvi do Professor Hilton Rocha a carinhosa e respeitosa, sem deixar de ser irônica, referência ao Professor José Inácio Barraquer, da Colômbia, que pretendia mudar a curvatura corneana com métodos extremamente complexos, congelando e torneando o tecido, como se fosse uma peça rígida, maciça. Em uma época em que a estrutura anatômica e a fisiologia do endotélio corneano haviam começado a ser mostradas (Maurice, 1953), a proposta soaria como fanfarronice, se não considerássemos o conceito e respeito pelo nome de Barraquer. Essa citação foi vital para abrir minha curiosidade e interesse pelo tema, tendo sido também determinante na escolha do meu tema de doutorado intitulado: *Implante interlamelar xenógeno de córnea de galinha em coelho*, e, na decisão, considerada na época como exótica, de adotar o microscópio (ao invés da lupa) como instrumento padrão em todas as cirurgias que fiz durante meu curso de especialização em oftalmologia. Lembrando que, na época, a técnica de cirurgia da catarata padrão era intracapsular, sem implante, e que o microscópio (na época, bem primitivo se comparado aos atuais) constituía-se mais como um estorvo do que como uma ajuda.

Após a conclusão do meu doutorado, no exterior, aquela simples e inocente citação ao Professor Barraquer, que mais tarde se tornaria meu amigo e conselheiro, colocou meus sentidos em alerta para o tema cirurgia refrativa e otimização da correção refracional pós-atarata. Na realidade, as grandes descobertas ou mudanças da ciência são sempre anunciadas ou desenhadas por filósofos ou gênios, como o Professor Barraquer, que conseguem elevar suas mentes acima dos paradigmas do momento e nos apontar um novo horizonte.

Conceituação

Mas o interesse pela correção dos defeitos refracionais obrigatoriamente começa pela compreensão dos componentes ópticos que

compõem os complexos mecanismos presentes nas estruturas anatómicas dos olhos, que são responsáveis pela focalização da luz por meio da pupila sobre a retina. Curiosamente, apesar de esses mecanismos terem sido objeto de discussão há séculos, ainda hoje algumas dúvidas dão margem a discussões persistentes, como é o caso do formato do cristalino na acomodação, e, certamente, esse enfoque poderá ser modificado no futuro.

A grande questão

Até hoje, ainda não respondemos à provocação de Helmholtz sobre as imperfeições dos olhos, que afirmou: “Se um artesão me tivesse construído um aparelho óptico tão mal feito como o olho humano, me acharia no direito de devolvê-lo com palavras bastante duras”. Até hoje, mais recentemente inclusive, acompanhamos intensos e intermináveis debates entre evolucionistas e criacionistas, tais como a discussão da localização das fibras nervosas se posicionando na frente da retina, comprometendo a passagem da luz até os fotorreceptores ou a presença de um ponto cego. Mantém-se uma discussão que basicamente se resume a um ponto fundamental e crítico para a compreensão do olho e do sistema visual. Por que, depois de milhões de anos, os olhos ainda possuem tantas imperfeições? Os olhos deveriam ser opticamente perfeitos para gerar a melhor imagem possível de uma cena ou de um objeto? Ou pelo contrário, suas imperfeições deveriam ser mantidas para facilitar sua adaptabilidade ao nosso mundo em constantes mudanças de iluminação, de distância focal e de enquadramento?

Em engenharia, quanto maior a otimização de um sistema menor a sua adaptabilidade. Nós, oftalmologistas, optamos por aperfeiçoar a visão, corrigindo todos os defeitos ópticos encontrados pelos nossos, ainda primitivos, equipamentos propedêuticos. Começamos pela correção dos defeitos refracionais de baixa ordem, esféricos e astigmáticos. Em sequência, adaptamos os aberrômetros (ainda primitivos) da astronomia para medir imperfeições ópticas de alta ordem e desenvolvemos *lasers* capazes de fazer sua correção de forma seletiva, personalizada.

Curiosamente, paradoxalmente, somos ainda incapazes de incluir em nossos algoritmos, talvez por falta de compreensão, a maior das aberrações presentes nos nossos olhos, a aberração cromática. E, fazemos todas as correções usando sistemas primitivos de aberrometria monocromática. Se optarmos pela segunda corrente de pensamento, que defende a adaptabilidade dos olhos como elemento dominante na evolução, os paradigmas do cirurgião refrativo serão totalmente modificados em futuro imediato. Se realmente precisamos nos adaptar a diferentes condições de visão, não poderemos mais corrigir nossas pequenas imperfeições de alta ordem presentes em nossos desenvolvimentos. Essa afirmação não inclui aberrações induzidas, resultantes de doenças ou de intervenções iatrogênicas. Essa resposta não tardará a chegar e deverá ser uma das mais impactantes na visão e missão dos oftalmologistas do futuro.

Definições básicas

O sistema óptico do olho é responsável por convergir e focalizar os raios luminosos na retina. Olhos cujo ponto focal está em outro lugar diferente da retina apresentam erros refracionais. Esses erros de refração surgem como resultado de variações anatómicas dentro do olho que impedem a imagem de ser perfeitamente focalizada na retina. Tais variações podem ocorrer na córnea e no

cristalino, ou podem também ser afetados pela profundidade da câmara anterior do olho e pelo comprimento axial do globo ocular.

Sua correção é tradicional e mais comumente feita pela adição de lentes refracionais externas (óculos ou lentes de contato) que objetivam recolocar o ponto de focalização na retina. Alternativamente, podemos modificar cirurgicamente o conjunto de lentes naturais, córnea ou cristalino, ou ainda introduzir lentes na córnea (*inlays*) ou dentro dos olhos (ICL, IOL), ou, finalmente, colocar próteses que modifiquem a curvatura corneana. Assim, cirurgia refrativa pode ser definida como um termo geral para procedimentos cirúrgicos que podem corrigir ou minimizar erros de refração, mais comumente alterando permanentemente a forma da córnea, ou adicionando lentes ou órteses nos tecidos oculares ou intraoculares.

Cirurgia refrativa

Precursores

Embora em tempos primitivos a correção refracional tenha sido muitas vezes fantasiada ou romanceada, a ideia de correção anatômica só se manifestaria depois do conhecimento da anatomia e dos mecanismos ópticos responsáveis pelo ajuste refracional e, conseqüentemente, dos equipamentos que nos permitem avaliar, quantitativamente, os elementos anatómicos responsáveis por esse ajuste. Frequentemente, na história da humanidade, a fantasia desenvolve a ideia de que a tecnologia daquele exato momento não é capaz de excutar. Existem registros comprovando a tentativa de alteração cirúrgica da córnea antes do início do século XIX, portanto na “infância” da cirurgia oftalmológica.

A definição de um ponto de referência do início do ciclo relacionado a qualquer movimento é sempre complicada e depende da perspectiva pela qual se analisa um processo como dito inicialmente. Considerando o conhecimento dos mecanismos de refração e sua medida, nos é permitido caracterizar esse momento. Extraí de Schor (1997), em sua tese doutoral intitulada: *Idealização, desenho, construção e teste de um ceratômetro cirúrgico quantitativo*, a citação a respeito dos primeiros conhecimentos sobre a córnea como elemento refracional do olho.

A implicação da córnea na gênese da visão é fato conhecido desde antes da era cristã. Suas propriedades refrativas foram descritas por Galeno, em 100 d.C. Porém, as leis da refração só foram detalhadas e aplicadas à visão por Kepler, em 1610, dez anos após o professor de hebraico Christophorus Scheiner medir, pela primeira vez, a curvatura da córnea, quando comparou reflexos de uma janela, numa esfera de tamanho conhecido, aos reflexos da córnea.

A medida básica e até hoje mais importante em cirurgia refrativa é a da curvatura anterior da córnea. Cerca de 2/3 do poder refracional do olho se concentram ali. A medida da curvatura corneana tinha sido objeto de interesse de vários cientistas por séculos. Mas a descrição da curvatura corneana foi realmente feita originalmente por Scheiner. Ele havia observado uma diferença no tamanho do reflexo produzido pela córnea com objetos redondos de curvaturas diferentes. Mas, somente em 1796, Jesse Ramsden criou o primeiro equipamento que poderia ser descrito como um ceratômetro, embora tivesse sido desenhado especificamente para estudar a acomodação em áfacos, porque as medidas da córnea eram utilizadas na tentativa de determinação do poder dióptrico do olho. Houve pouco interesse pelo seu trabalho até 1854, quando o médico e físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz aprimorou o equipamento de Ramsden e, em 1867, descreveu a técnica de medição e

quantificação em dioptrias da curvatura anterior da córnea. Embora tivesse sido um grande avanço, a ceratometria somente passou a ser usada largamente em clínica após o desenvolvimento do ceratômetro de Javal e Schiötz em 1881. Depois que Karl Ferdinand von Graefe popularizou sua técnica de cirurgia de catarata em meados dos anos de 1850, o oftalmologista e matemático austríaco August von Reuss e o oftalmologista russo Mickael Woinow, assistente de Helmholtz, usaram a ceratometria para medir astigmatismo depois da cirurgia de catarata. Os dois são creditados como os primeiros a descrever quantitativamente a mudança de curvatura da córnea em função da cirurgia. Adicionalmente publicaram uma série de artigos sobre temas como ametropia, o ponto cego, a visão binocular, visão de cores, acomodação, alojamento etc.

Em 1864, Frans Cornelis Donders publicou sua clássica dissertação sobre erros refrativos. Nela, repudiou correções cirúrgicas de ametropias e as considerou como modismos. Em 1869, o oftalmologista holandês Herman Snellen, sucessor de Donders, reportou o uso de incisões na córnea no meridiano mais curvo, com o objetivo de produzir um aplanamento e assim corrigir o astigmatismo. A aplicação da teoria de Snellen, contudo, foi por vários anos contestada. A tentativa de correção foi feita por outros oftalmologistas, sem sucesso. Eram tempos de inovação e decepção, mas uma época histórica, com descobertas revolucionárias em todos os campos, especialmente em oftalmologia.

A partir do domínio da tecnologia e do conhecimento teórico, outras aplicações foram incorporadas à ceratometria. A determinação da curvatura corneana durante o procedimento operatório foi introduzida por José Ignácio Barraquer em 1962, na Colômbia, e, desde então, diversos instrumentos para esse fim proliferaram.

Ensaio e experimentação

O advento da anestesia tópica permitiu a popularização da técnica cirúrgica de catarata de von Graefe. Depois disso, oftalmologistas logo reconheceram a relação entre o formato da córnea e o astigmatismo. Em 1885, o oftalmologista norueguês Hjalmar Schiötz (que criou o tonômetro de indentação em 1905) descreveu uma incisão corneana para reduzir astigmatismo pós-cirurgia de catarata. Em 1895, o oftalmologista holandês Faber realizou ceratotomia perfurante para correção do astigmatismo. Em 1896, o italiano Lucciola de Terrin relatou o uso de incisões anteriores não perfurantes também para tratar astigmatismo. Em função do seu objetivo mais comum de correção do astigmatismo pós-atarata, essas técnicas foram descritas na literatura como correção de astigmatismo. Não eram descritas de forma precisa em relação ao tipo de incisão, orientação ou técnica usada.

Um marco na cirurgia refrativa corneana

Foi o ainda jovem médico e físico holandês Leendert Jan Lans, em 1898, quem conseguiu definir e sistematizar em sua tese doutoral, os princípios básicos que passam a definir o que nós consideramos hoje como ceratotomia. Ele foi o grande precursor do aplanamento cirúrgico da córnea. Variando o número, a direção e a forma das incisões, ele propunha a correção do astigmatismo de forma personalizada, capaz de controlar os resultados e adaptar a técnica à correção desejada.

Seu trabalho foi fundamental na definição de terminologia, na descrição da técnica usada e se tornou um clássico na literatura adotado como padrão da cirurgia refrativa desde então, sendo ainda considerado por muitos como um padrão pelo qual a cirurgia

refrativa moderna é avaliada. Ele elucidou os princípios de aplanamento da córnea induzida por incisões na face anterior da córnea.

Em 1898, Lans descreveu também a aplicação de calor pela eletrocauterização para a periferia da córnea de coelhos para induzir um aumento da curvatura. Ele demonstrou que a cauterização era mais efetiva, porém, menos previsível e menos estável do que a ressecção de tecido. Na mesma tese, Lans também demonstrou originalmente que uma incisão transversal em um meridiano produzia aplanamento no mesmo, mas também um encurvamento no meridiano oposto.

Charles Wray, em 1914, usou a cauterização para tratar astigmatismo hipermetrópico. Holth, entre 1911 e 1913, e Gronholm, em 1921, propuseram o encurtamento do globo com uma esclerectomia pré-equatorial para miopia. Em 1922, o japonês Inonye usou uma banda elástica semirrígida para aplanar a córnea. Em 1933, John O'Connor descreveu o tratamento de astigmatismo com miopia com cauterização por calor.

À exceção da experimentação sistemática em laboratório por Lans, o período que abrange 1885 a 1939 foi um ensaio de tentativa e erro em cirurgia refrativa. Esses esforços foram necessários para os "próximos passos" depois que os teóricos descreveram as características ópticas do olho humano e propuseram alterações mecânicas do contorno ocular para a correção de erros refrativos. Esses trabalhos foram importantes ao desenvolver princípios e ao conceituar e definir diferentes técnicas cirúrgicas com que trabalhar e não trabalhar no tratamento de vários erros de refração.

Essas tentativas foram, por vezes, malsucedidas por falta de tecnologia apropriada, mas, mais frequentemente, pelo desconhecimento das propriedades biomecânicas e cicatriciais da córnea. Nossa revisão histórica é também prejudicada pela falta na época, de uma metodologia científica publicada que nos permita comparar ou atestar a veracidade das conclusões e reivindicações feitas por diferentes autores.

Cirurgia refrativa corneana na era pré-moderna

Em 1936, Tatsuhiko Sato observou o aplanamento da córnea em pacientes com ceratocone que tinham sofrido episódios de hidropisia, e ele sugeriu a hipótese de que as fraturas na membrana de Descemet fossem responsáveis tanto pela mudança de curvatura corneana como pela hidropisia. No final dos anos 1930, ele testou sua hipótese arranhando a superfície interna da córnea de coelhos para induzir o aplanamento. Seu trabalho considerava os princípios delineados por Lans quase meio século antes. Sato trouxe a ceratotomia anterior e posterior para a prática clínica em centenas de pacientes com ceratocone e relatou seus resultados na literatura japonesa e europeia nos anos de 1940. Sato também aplicou sua técnica em ceratotomia posterior para a correção de astigmatismo. Ele reafirmou o princípio de Lans de que incisões mais profundas, ao invés das mais superficiais, produzem maior aplanamento. Sato tentou combinar dissecação lamelar com incisões posteriores. O papel do endotélio corneano na diminuição da turgescência e na manutenção da transparência da córnea não eram ainda conhecidos e o desenvolvimento subsequente do edema corneano na maioria dos pacientes de Sato levaram ao abandono da técnica. Mas a simplicidade da correção por meio de incisões superficiais na córnea seria um elemento determinante no estímulo de novas pesquisas e na observação clínica diária de casos de traumatismos ou cicatrizes que levavam à formação de um defeito refracional,

geralmente astigmático ou, paradoxalmente, à sua atenuação. A partir desse conhecimento, a prática dessa correção somente foi limitada pela indisponibilidade de equipamentos de corte (bisturis, lâminas) e de medição (ceratômetros, topógrafos) apropriados. Não é de se surpreender que o disco de Plácido, proposto em 1880, tenha oferecido uma visão das distorções produzidas pelos astigmatismos regular e irregular de uma forma muito didática aos primeiros interessados na cirurgia corneana. O disco de Plácido funciona como um ceratoscópio manual que mostra as irregularidades da superfície corneana, permitindo a análise qualitativa de 5,5 mm centrais. Consta de um disco com anéis brancos e pretos alternados e um orifício por onde o examinador observa a reflexão da imagem dos anéis produzida pela superfície corneana anterior, usada como espelho convexo. Na córnea normal, a imagem refletida dos anéis é uniforme e concêntrica, enquanto, no astigmatismo, a imagem refletida é mais curva do que sua perpendicular ou, no caso, por exemplo, do ceratocone, ela é irregular e os anéis estão muito juntos nos quadrantes inferiores da córnea.

Lentes intraoculares

Cirurgia refrativa pelo cristalino

A correção de altos graus de miopia por remoção do cristalino foi hipotetizada pelo holandês Hermann Boerhaave em 1746. O austríaco Vicenz Fukala reportou, em 1778, pela primeira vez, a lensectomia branca para correção da alta miopia. Fukala é considerado o pioneiro do conceito de lensectomia refrativa em todo o mundo. A técnica receberia, entretanto, muitas críticas em função do alto índice de descolamento de retina, cuja associação só foi compreendida mais tarde levando ao seu abandono.

No outro lado do espectro de erro refracional, a correção de hipermetropia e de áfacos com implantes intraoculares começou com uma observação em 1948, por Ridley, de que olhos dos pilotos da Força Aérea Real da Segunda Guerra Mundial, que tinham fragmentos de para-brisa de avião, apresentavam pouca ou nenhuma reação inflamatória ao corpo estranho. Harold Ridley sugeriu a hipótese de que uma lente feita desse mesmo material também seria tolerada pelo olho humano e efetivamente produziu, junto com a Rayner, uma lente intraocular de polimetilmetacrilato (PMMA). A lente era biconvexa, média 8,5 mm de diâmetro, 2,4 mm de espessura, com 23,00 D e pesava 108 mg. Não se sabia ainda como calcular o poder refracional da lente a ser implantada, e a primeira cirurgia de Ridley, em 1949, resultou em um resultado refracional de $-18,0 -6,0 \times 120$, o que levou à remoção da lente. Ele é considerado o pioneiro do implante de lentes intraoculares em cirurgia da catarata. As primeiras cirurgias foram feitas em 1949 em Londres. A técnica de cirurgia predominante na época era intracapsular e a lente proposta por Ridley demandava a técnica extracapsular para permitir a fixação da lente. As lentes propostas por Ridley não possuíam alças de fixação, era apenas uma lente, e sua estabilização dependia de mecanismos de fibrose capsular em torno de si. O primeiro artigo publicado por Ridley sobre LIOs foi em 1951. Após a apresentação de Ridley na Universidade de Oxford, em 1951, outras cirurgias como Arruga H. (Espanha), Barraquer J. (Espanha), Epstein D. (África) e Paufigue L. (França), bem como Warren Reese da Filadélfia (o primeiro americano a implantar uma LIO, em 1952) tentaram aprimorar a técnica e o implante sem sucesso imediato. As principais complicações foram hifema, descentralização, atrofia da íris, glaucoma e inflamação. Em 1958,

Strampelli B. propôs a colocação das LIOs em lóbulos das orelhas do paciente por 3-4 meses para diminuir a reação inflamatória antes de implantá-las no olho.

Em função do grande número de complicações nas cirurgias, inicialmente Ridley sofreu forte e prolongada oposição por parte da comunidade médica, tendo perdido inclusive sua posição como médico do Hospital Saint Thomas em Londres. Suas contribuições foram reconhecidas somente quando a lente intraocular foi aprovada como "segura e eficaz" e aprovada para utilização nos Estados Unidos pela *Food and Drug Administration* (FDA) em 1981.

A cirurgia da catarata com implante evoluiu lentamente juntamente com a técnica extracapsular e, posteriormente, com a evolução da facoemulsificação. A cirurgia intracapsular permaneceu como técnica predominante entre os oftalmologistas de todo o mundo até meados dos anos 1980. A partir daí, a técnica extracapsular se popularizou e se equiparou a intracapsular na preferência dos cirurgiões a partir dos anos 1990.

A cirurgia de extração da catarata com implante de LIO por facoemulsificação é hoje, entre nós, nos Estados Unidos e na Europa, o tipo mais comum de cirurgia ocular.

Graças ao desenvolvimento da indústria de lentes intraoculares, que se beneficiou do desenvolvimento de novos materiais e novos desenhos, de novas técnicas cirúrgicas, de tecnologia de cálculos de poder refracional, muitos modelos de lentes fáticas foram propostas, grande parte retirada de uso devido a complicações.

Cirurgia lamelar da córnea

Em 1963, José Barraquer, na Colômbia, desenvolveu a ideia de modelar a curvatura corneana modificando sua espessura central pela adição ou remoção de tecido. A remoção de lamelas intraestromais centrais leva a um aplanamento para a correção de miopia e a adição a um encurvamento facilitando a correção da hipermetropia. Em 1964, ele descreveu os princípios da ressecção intralamelar. A técnica proposta por Barraquer demandava a remoção de uma lamela superficial da córnea (que hoje chamamos de *flape* ou disco superficial) que era posteriormente congelada em nitrogênio. O congelamento era necessário para produzir um enrijecimento do tecido para que fosse possível a remoção de tecido por meio do torneamento, como se fosse uma peça rígida de metal. Depois de torneada e descongelada a lamela era resuturada no olho do paciente. Barraquer refinou essa técnica de congelamento da córnea para torná-la mais rígida e ressecá-la a uma forma específica usando um torno mecânico. Além disso, ele desenvolveu microceratomos para produzir ressecções intralamelares precisas na córnea. Para a correção da hipermetropia, propôs a ceratofacia, que consiste no implante de lenticulo previamente preparado. A técnica poderia ser usada para a correção da afacia, uma condição comum na época quando implantes intraoculares não eram usados.

O torno usado era chamado de cryolato. O uso do cryolato demandava uma equipe de engenheiros e técnicos e era cara, o que diminuía o interesse da maioria dos oftalmologistas. Para superar essa barreira, em 1970, um grupo de oftalmologistas, Miles Friedlander, Casimir Swinger, Richard Troutman, entre outros, se juntaram a Barraquer na tentativa de simplificar e matrisar a técnica. Uma das propostas foi a de produzir lenticulos estromais que poderiam ser congelados e armazenados em um banco de olhos. O cirurgião tinha apenas que fazer a ressecção lamelar com o microcerátomo, inserir o lenticulo e suturar o disco ou lamela superficial removida. Pouco tempo depois, Theodore Werblin e

Herbert Kaufman tentaram eliminar o microcerátomo na cirurgia usando um disco superficial doador previamente removido e torneado, dando-lhe o nome de epiceratofacia. A epiceratofacia foi estudada em todo o mundo usando discos preparados comercialmente de um dado poder dióptrico que podiam ser reidratados no instante da cirurgia do estado liofilizado em que foram enviados para o cirurgião. A operação foi elogiada como um procedimento reversível. O aparecimento de astigmatismo irregular e a perda de transparência, mesmo que parcial, especialmente nos casos de afacia em uma época que emergiam os implantes intraoculares, condenou a técnica ao esquecimento. Os pioneiros dessa técnica foram Werblin, Friedlander, Krumeich e Kaufman. Voltaremos a falar de Ceratomileusis mais à frente.

Termoceratoplastia

Por ser um equipamento barato e de fácil uso, a termocauterização com objetivo refrativo sofreu repetidas tentativas de ressuscitação. Em 1964, com Stringer e Parr. Mainster propôs um modelo teórico para a ceratoplastia, usando o laser infravermelho em 1979. No ano seguinte, Rowsey *et al.* introduziram uma sonda de radiofrequência para a termoceratoplastia.

Fyodorov tentou sistematizar a termoceratoplastia para o tratamento de hipermetropia. Em 1984, ele introduziu uma sonda de ponta retrátil. Neumann, Fyodorov e Sanders relataram seus resultados com esse método de termoceratoplastia radial em humanos em 1990. A regressão e baixa do efeito e a pobre previsibilidade acabaram relegando esse procedimento ao esquecimento.

Ceratotomia radial anterior de Fyodorov

Em 1970, Fyodorov demonstrou que a maior parte do aplanamento corneano podia ser obtida com 16 ou menos incisões, com 90% de profundidade na superfície anterior da córnea. Fyodorov conseguiu sistematizar a ceratotomia radial variando o número de incisões e o diâmetro das zonas ópticas para controlar a correção desejada. Em 1978, a técnica foi introduzida nos Estados Unidos por Leo Bores. Em 1980, o Instituto Nacional de Saúde Americano (*National Institute of Health - NIH*) patrocinou o *Prospective Evaluation of Radial Keratotomy - PERK*, um estudo que, ao longo de 10 anos, coletou dados científicos em ceratotomia radial, realizado de uma maneira padronizada em 9 centros nos Estados Unidos. A grande limitação da ceratotomia radial estava no seu limitado poder de correção, restrito a cerca de 6,00 D. Acima dessa correção, era necessário um número extra de incisões, acima das 8 convencionais, de se usar uma profundidade acima de 90% da espessura da córnea ou de se usar uma zona óptica inferior a 3 mm. Invasão epitelial e hipercorreção tardia foram as complicações mais associadas.

O renascimento da ceratomileusis *in situ*

Ceratomileusis

A técnica original de ceratomileusis proposta por Jose Barraquer era bastante complexa. Demandava a remoção de um disco de

aproximadamente 300 µm usando-se um microcerátomo ou uma lâmina de Pauflique. Esse disco era colado em uma lente de contato, depois congelado e, em sequência, levado a um torno (cryolato) para a remoção de tecido na área central ou periférica para central, para correção da hipermetropia ou da área central para correção da miopia. O disco processado era fixado na córnea do paciente com duas suturas, e um recobrimento conjuntival protegia o disco durante o período de cicatrização. Barraquer apresentou em 1961 os primeiros resultados de 8 pacientes.

Em uma segunda série de 400 casos, os resultados eram promissores e poucas foram as complicações, tais como: invasão epitelial e astigmatismo irregular, além de 2 casos de infecção. Cerca de 80% dos pacientes demonstraram estar satisfeitos com os resultados de melhora visual.

Os resultados estimularam outros cirurgiões que contribuíam com avanços na técnica e na tecnologia. Novas suturas, novos microcerátomos, novos sistemas de sucção, de anéis e de lâminas foram sendo desenvolvidos. O cryolato passou a ser controlado por um computador. Mas a maior dificuldade, além da complexidade e custo do equipamento, continuava a ser a complexidade técnica e sua lenta curva de aprendizagem. Junto com Krumeich e Swinger, Barraquer desenvolveu um novo sistema denominado BKS que permitia a remoção de tecido sem congelamento. A eliminação do congelamento diminuiu o tempo de recuperação visual, mas não a previsibilidade. Mas a remoção de tecido no disco ressecado exigia discos grandes, de difícil obtenção com os microcerátomos da época. Era também necessário contar com uma boa espessura coneana. É importante destacar que não havia paquímetros ultrassônicos. A espessura corneana era medida com um paquímetro óptico, adaptado à lâmpada de fenda. Eram medidas imprecisas e sujeitas a variações de acordo com o examinador.

A grande evolução aconteceria em 1987, ainda com Barraquer, junto com Luiz Ruiz. O desenvolvimento de anéis de sucção com altura diferentes permitiu a ressecção do segundo corte, com objetivo refrativo. A assistente de Barraquer propôs a ressecção estromal *in situ*, eliminando a necessidade do cryolato.

Enquanto a complexa abordagem de Barraquer demandava uma remodelação córnea combinando a ressecção mecânica de uma lamela corneana, seguida de congelamento para permitir a moldagem, fazendo com que a recuperação visual fosse retardada por semanas ou meses, a técnica *in situ*, proposta por Ruiz, era muito mais simples e permitia a recuperação visual imediatamente.

Esses avanços foram percebidos pelos brasileiros e, em 1988, um grupo de brasileiros, Renato Ambrosio, Carlucio Andrade e Ricardo Guimarães fizeram o primeiro curso com Ruiz em Bogotá e passaram a divulgar a técnica em todo o mundo. O Brasil foi assim o primeiro centro de desenvolvimento da ceratomileusis *in situ* depois da Colômbia.

Na época, a ceratotomia radial estava bem difundida e os resultados obtidos eram considerados satisfatórios para a expectativa da maioria dos pacientes e dos médicos. Sua limitação maior era em relação à capacidade de correção, entre 5,00 D e 8,00 D. Esses limites podem ser comparados com os do *excimer laser*, hoje entre 8,00 D e 12,00 D. A partir de 5,00 D, era necessário aumentar o número de incisões, a profundidade para 95% e diminuir a zona para menos de 3 mm, que faziam aumentar as chances de complicações e de perda de qualidade visual. A ceratomileusis ampliou os limites de correção para 12,00 D. A possibilidade de fazer grandes correções refracionais miópicas e hipermetrópicas pela técnica de Ruiz se propagou rapidamente em todo o mundo. A grande limitação na prática da ceratomileusis *in situ* se encontrava na preci-

são dos equipamentos de ressecção lamelar, os microcerátomos. A ressecção mecânica do lenticulo miópico na córnea do paciente era imprecisa em função da variação das lâminas e na folga dos equipamentos. Não apenas os equipamentos mecânicos não possuíam a precisão de micras necessária, como também a velocidade de corte e níveis de sucção podiam contribuir para alterar o resultado. No final dos anos 1980, Ruiz desenvolveu um microcerátomo automatizado e a velocidade de corte padronizado. Esse avanço contribuiu muito para a popularização da técnica. A sutura de um disco tão fino era um elemento de dificuldade e frequentemente produzia dobras no disco e astigmatismo irregular, além de facilitar a invasão epitelial. Como a espessura e o diâmetro das lamelas ressecadas não eram precisas, tornava-se necessária uma correção adicional pela certatomia radial. A soma desses dois métodos permitia uma correção satisfatória da maioria dos casos. A indicação de ceratomileusis era limitada a casos acima de 5,00 D ou mais dioptrias, dependendo do cirurgião. O conhecimento acerca de qualidade de visão era muito restrito na época, e pacientes submetidos a grandes correções de miopia se queixavam da qualidade de visão especialmente à noite. Outra grande limitação era a necessidade de se suturar o disco superficial, hoje denominado *flape*, de volta à córnea do paciente.

Numerosas suturas foram propostas até que, em 1999, Guimarães R. desenvolveu inicialmente um sutura de suporte, denominada Bra Suture, eliminando um passo difícil devido à pequena espessura do disco e facilitando a reposição do disco com uma menor incidência de astigmatismo irregular e invasão epitelial. Logo em seguida Guimarães demonstrou que era possível repôr o disco ou *flape* de volta sem sutura. Essa simplificação da técnica teria um grande impacto na popularização da modalidade *in situ* que passou a ser executada em todo o mundo.

O excimer laser - uma nova era

A era do *laser* com objetivos refrativos começou em 1980 com o *laser* de dióxido de carbono com propriedades térmicas. Assim como os outros métodos térmicos, tais como a sonda de calor ou a sonda de radiofrequência, a retração do colágeno induzido pelo *laser* de dióxido de carbono demonstrou-se transitória e imprevisível. Em 1987, o *laser* de itríbio foi também tentado, apresentando os mesmos resultados.

O *excimer laser* foi originalmente usado para gravar *chips* de silicone entre 1970 e 1975. Trabalhando nos laboratórios de pesquisa da IBM em 1982, Rangaswamy Srinivasin e a equipe da IBM perceberam que poderiam remover tecido biológico com um *laser* sem dano ao tecido remanescente.

O *excimer laser* rompe as ligações moleculares do tecido sem corte ou queima, fazendo com que eles se desintegram através um processo conhecido como ablação. A ablação é a remoção de material da superfície por vaporização, com precisão submicrométrica removendo 0,25 μm de tecido a cada pulso. O *excimer laser* permite, portanto, a remoção ou a ablação de tecido corneano com elevado grau de precisão e sem danificar o tecido da córnea subjacente.

Em 1985, Theo Seiler, físico e oftalmologista da Alemanha, realizou a primeira ablação em olho humano para remover uma cicatriz na córnea. Steven Trokel, oftalmologista de Nova York, realizou a primeira cirurgia a *laser* nos olhos de um paciente sem visão em 1987. No início de 1988, o McDonald realizou o primeiro *photo refractive keratectomy* (PRK) em um olho com visão, mas

que seria enucleado por outra patologia, ao mesmo tempo em que Francis L'Esperance e Theo Seiler também faziam PRK em olhos cegos. Em 1991, Marguerite McDonald reportou resultados de ablação superficial para correção da miopia, concluindo pela segurança do método.

Em 1996, o primeiro *laser excimer* para uso oftálmico de refração foi aprovado nos Estados Unidos. Os próximos 10 anos seriam gastos para aperfeiçoar os equipamentos e as técnicas utilizadas na cirurgia ocular a *laser*.

A primeira fase de desenvolvimento do *excimer* foi totalmente voltada para a ablação superficial, denominada PRK.

O processo de cicatrização no PRK envolve uma resposta cicatricial mais complexa com mediadores inflamatórios, remodelação estromal eventualmente alterada, levando a uma tentativa de reformação do estroma desorganizadamente e a formação de *haze*. No PRK, as células epiteliais removidas regeneram em um período de vários dias. A membrana de Bowman também removida não se regenera. Alguns oftalmologistas argumentavam que a destruição permanente da membrana de Bowman durante PRK pode levar a complicações tardias, uma vez que a membrana de Bowman é uma barreira protetora entre o meio ambiente e o estroma corneano.

O *haze* representou durante muitos anos uma complicação comum. Atualmente a mitomicina fez diminuir a incidência de *haze*, mas na época seu uso ainda era desconhecido. A lenta recuperação visual que dependia da regeneração epitelial, a dor, as chances de *haze*, de regressão, e as queixas de visão noturna eram comuns após PRK. Nesse momento, aproveitando a experiência desenvolvida com a ceratomileusis, vários cirurgiões sugeriram o uso do *excimer* após a remoção do *flap*, promovendo uma rápida reabilitação e eliminando o inconveniente pós-operatório do PRK. O uso do *excimer laser* respondeu a uma demanda de previsibilidade, apesar da lentidão da recuperação visual e do desconforto pós-operatório. A experiência acumulada com a ceratomileusis era grande na época de aparecimento do *excimer laser*. A combinação das vantagens da rapidez da cicatrização na cirurgia lamelar à previsibilidade do *excimer* estimulou vários cirurgiões a tentar sua associação.

Burrato esteve entre os primeiros a associar o *excimer* à ceratomileusis em 1989, em 30 olhos. Pallikaris propôs o termo Lasik como *Laser Assisted Keratomileusis* em 1990.

Para o Lasik, basicamente o procedimento era semelhante ao da ceratomileusis *in situ*, à exceção da correção refrativa que, na ceratomileusis, é feita mecanicamente pela remoção de uma segunda lamela de diâmetro menor, em geral com cerca de 4 mm. No Lasik, um microcerátomo era usado para a remoção do *flape* ou lamela superficial de cerca de 8 mm. O *excimer laser* é usado para a remoção do lenticulo refrativo. O *flap* é colocado de volta.

O Lasik criou um momento de otimismo em relação à cirurgia refrativa, que se espalhou por todo o mundo.

Os primeiros *excimers* são chamados também de convencionais. Inicialmente, corrigiam apenas a miopia. Somente depois passaram a integrar as correções de hipermetopia e astigmatismo. Corrigiam os defeitos de refração medidos tradicionalmente e prescritos em óculos. A correção com *excimers lasers* convencionais é baseada na refração do paciente (óculos de grau, esférico e astigmatismo), medida na clínica. A energia do *laser* é normalmente aplicada centralmente sobre a pupila. Um diafragma de expansão controla a aplicação do *laser* sobre a córnea central ou periférica dependendo da correção miópica ou hipermetrópica. O *laser* era fixo sem sistemas de estabilização "eye trackers". Não eram capazes de fazer correções de alta ordem.

Aberrações de alta ordem e correção personalizada

A observação de que alguns pacientes se queixavam de ofuscamento após a cirurgia levou ao desenvolvimento de novos equipamentos de medida de aberrações ópticas, em uso pela astronomia, os aberrômetros, capazes de medir defeitos ópticos chamados de alta ordem. Esse conhecimento levou ao desenvolvimento de tratamentos personalizados, guiados por frente de onda (*wavefront*). Ao invés de confiar em um feixe de *laser* com uma expansão circular controlado por um diafragma, tratamentos guiados por *wavefront* usam sistemas de rastreamento e *lasers* pontuais de varredura de um feixe ou *spot* de pequeno diâmetro para permitir a correção de defeitos localizados e frequentemente exêntricos e irregulares. Os primeiros equipamentos e tratamentos foram realizados em 1999, e aprovados pela FDA em 2002.

Femtonsecond ou femtossegundo

Posteriormente, outros tipos de *laser* foram desenvolvidos, tais como o *femtosecond* (femtossegundo), capazes de substituir o microcerátomo para fazer o *flap* e também a ablação refracional. O procedimento a *laser* femtossegundo foi usado pela primeira vez clinicamente na cirurgia de catarata pelo professor Zoltan Nagy em Budapeste, Hungria (Europa), em 2008. Isso foi seguido por Doutor Steven Slade, nos Estados Unidos (2010); Doutor Harvey Uy, na Ásia (2009); e Doutor Michael Lawless, na Austrália (2011).

Atuam na faixa de 1.053 nm, com pulsos ultracurtos, com duração de 10-15 s, capazes de criar incisões superficiais ou na subsuperfície da córnea por fotodisrupção. Esses *lasers* produzem incisões precisas e regulares, ideais para cirurgia corneana e do cristalino. Quando aplicados em um plano linear no estroma da córnea, formam um plano de dissecação confluyente ou incisão. A cada pulso o *laser* vaporiza pequenos volumes de tecido com a formação de bolhas de gás de cavitação consistindo em carbono dióxido e água, que, eventualmente, se dissipam para os tecidos circundantes, permitindo a criação de *flaps* obtidos com o microcerátomo tradicional. Uma vez que a aba de Lasik foi criada, o *excimer laser* é usado para a correção refrativa. A grande barreira para a adaptação da tecnologia a *laser* femtossegundo até esse momento tem sido o custo e a complexidade da tecnologia. O *laser* femtossegundo pode também ser usado para criação de incisões relaxantes, tal como na ceratotomia radial.

Essa tecnologia tem sido utilizada desde 2001, inicialmente no Lasik, em substituição ao microcerátomo. Novamente, o raciocínio de vantagens da mudança de um sistema mecânico do microcerátomo para o *laser* agregou mais precisão e uniformidade no corte com menos efeitos colaterais, contribuindo para resultados mais precisos, reproduzíveis e seguros. Tal como o *excimer*, a nova geração de *lasers* adota o sistema de "trackers" automáticos que guiam o feixe de *laser* aplicado. A tecnologia femtossegundo é hoje também usada na cirurgia de catarata.

Considerações finais

Os aprimoramentos da topografia corneana, à semelhança do desenvolvimento dos primeiros equipamentos de medida da curvatura corneana por Christophorus Scheiner que, 380 anos atrás, descreveu os princípios básicos das medidas corneanas que pode-

riam ser consideradas lineares, precedentes e semelhantes, guardadas as devidas proporções de conhecimento de uma e outra época, aos usados nos aberrômetros atuais.

O avançado estágio de desenvolvimento da cirurgia refrativa moderna é o resultado de séculos de evolução do conhecimento médico e oftalmológico ao lado do desenvolvimento de novas tecnologias, tais como a eletrônica, *lasers*, computadores, o tratamento da informação, ao lado de cientistas brilhantes, médicos e engenheiros que souberam quebrar paradigmas e, muitas vezes, tiveram a ousadia de fazer o enfrentamento com o "conhecimento coletivo estabelecido", tal como aconteceu com Ridley.

O uso de novos *lasers*, tal como o Femton, associado ao controle de sistemas de rastreamento e comando inteligentes, está ainda na sua infância, mas promete ser rapidamente incorporado na medida em que sua produção em escala diminui o custo e novos avanços são incorporados à técnica e à tecnologia. Das primeiras incisões de Lans até a entrada no século XXI, a cirurgia refrativa percorreu um longo caminho e escreveu um dos capítulos mais bonitos da história da Medicina.

Bibliografia recomendada

- American Academy of Ophthalmology. The future of laser cataract surgery. Keynote lecture. Subspecialty day. Chicago: AAO; 2012.
- Barraquer JI. Autokeratoplasty with optical carving for the correction of myopia (Keratomileusis). *An Med Espec*. 1965; 51:66-82.
- Barraquer JI. Conducta de la córnea frente a los cambios de espesor. *Arch Soc Am Oftal Optom*. 1964:5-81.
- Barraquer JI. Keratomileusis. *Int Surg*. 1967; 48 (2):103-17.
- Barraquer JI. Method for cutting lamellar grafts in frozen corneas: new orientations for refractive surgery. *Arch Soc Am Ophthalmol*. 1958; 1:237.
- Barraquer JI. Queratoplastia refractiva. *Est Inf Oftal Inst Barraquer*. 1949; 2-10.
- Buratto L, Ferrari M, Rama P. Excimer laser intrastromal keratomileusis. *Am J Ophthalmol*. 1992;113:291-5.
- Chalita M, Xu M, Krueger R. Correlation of aberrations with visual symptoms using wavefront analysis in eyes after laser in situ keratomileusis. *J Refract Surg*. 2003; 19:S682-6.
- Guimaraes R, Andrade C, Ambrosio R. Cirurgia Refractiva. Rio de Janeiro: Pirâmide Livro Médico Editora Ltda; 1987.
- Holladay J. Fewer high order aberrations yields better visual performance. *EyeWorld Supplement*. May; 2008.
- Kim P, Sutton GL, Rootman DS. Applications of the femtosecond laser in corneal refractive surgery. *Curr Opin Ophthalmol*. 2011; 22:238-44.
- Machat J. Excimer laser refractive surgery. Thorofare: Slack; 1996.
- Maurice DM. Intercellular spacing of corneal endothelium. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1953, 11(2):311.
- McDonald MB, Liu JC, Byrd TJ, Abdelmegeed M, Andrade HA, Klyce SD, Varnell R, Munnerlyn CR, Clapham TN, Kaufman HE. Central photorefractive keratectomy for myopia. Partially sighted and normally sighted eyes. *Ophthalmology*. 1991; 98:1327-37.
- Nagy Z, Takacs A, Filkorn T, Sarayba M. Initial clinical evaluation of an intraocular femtosecond laser in cataract surgery. *J Refract Surg*. 2009; 25:1053-60.
- Palanker DV, Blumenkranz MS, Andersen D et al. Femtosecond laser-assisted cataract surgery with integrated optical coherence tomography. *Sci Transl Med*. 2010;2:58ra85.

- Pallikaris IG, Papatzanaki ME, Siganos DS, Tsilimbaris MK. A corneal flap technique for laser in situ keratomileusis. Human studies. *Arch Ophthalmol*. 1991;109:1699-1702.
- Pallikaris IG, Papatzanaki ME, Stathi EZ, Frenschok O, Georgiadis A. Laser in situ keratomileusis. *Lasers Surg Med*. 1990;10:463-8.
- Ratkay-Traub I, Juhasz T, Horvath C et al. Ultra-short pulse (femtosecond) laser surgery: initial use in LASIK flap creation. *Ophthalmol Clin North Am*. 2001;14:347-55.
- Roberts C. The cornea is not a piece of plastic. *J Refract Surgery*. 2000; 16:407-13. Disponível em: http://www.optikon.com/en/articles/keratron_018/media/roberts_editorial.pdf.
- Schor P. Idealização, desenho, construção e teste de um ceratômetro cirúrgico quantitativo [tese]. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo; 1997.
- Seiler T, Bende T, Wollensak J. Correction of astigmatism with the Excimer laser. *Klin Monatsbl Augenheilkd*. 1987; 191:179-83.
- Seiler T, Wollensak J. In vivo experiments with the excimer laser-technical parameters and healing processes. *Ophthalmologica*. 1986; 192:65-70.
- Seiler T, Wollensak J. Myopic photorefractive keratectomy with the excimer laser. One-year follow-up. *Ophthalmology*. 1991; 98:1156-63.
- Song H, Malta J. Femtosecond lasers in ophthalmology. *Am J Ophthalmol*. 2009; 147:189-97.
- Steiner R. *Cataract surgery*. 3. ed. Philadelphia: Elsevier; 2010.
- Stuart A (Ed.). A look at LASIK past, present and future. *EyeNet Mag*. 2009 Jun; 39-44. Disponível em: http://www.aao.org/publications/eyenet/200906/upload/39_Feat_SHP.pdf.
- Swinger CA, Krumeich J, Cassiday D: Planar lamellar refractive keratoplasty. *J Refract Surg*. 1986; 2:17-24.
- Thottam KB. Past, present & future of corneal refractive surgery. *Kerala J Ophthalmol*. 2011 Jun; 23(2):100-4. Disponível em: http://ksos.in/ksosjournal/journalsub/Journal_Article_24_400.pdf.
- Trokel SL, Srinivasan R, Braren B. Excimer laser surgery of the cornea. *Am J Ophthalmol*. 1983; 96:710-5.
- Werblin TP, Kaufman HE, Friedlander MK et al. A prospective study of the use of hyperopic epikeratophakia grafts for the correction of aphakia in adults. *Ophthalmology*. 1981; 88:1137-40.

