

REFRAÇÃO SUBJETIVA UM NOVO MÉTODO VETORIAL DE DETERMINAÇÃO DO CILINDRO (1/3)

A técnica de refração utilizada para a determinação do cilindro corretor de uma prescrição permanece, desde há muitos anos, praticamente inalterada. O principal motivo é o limite imposto pelos forópteros subjetivos ao posicionamento das lentes em intervalos de 0,25 dioptrias.

Atualmente, os forópteros com variações contínuas de potências permitem intervir, simultaneamente e com grande precisão, na esfera, cilindro e eixo da correção, sendo possível desenvolver novas técnicas de refração.

Esta série de três artigos descreve os princípios de um novo método vetorial de determinação do cilindro corretor e apresenta a lógica de um algoritmo automatizado de obtenção do cilindro associado ao mesmo.



Héléne Starynkevitch

Responsável de Estudos I&D
Divisão de Instrumentos
Essilor International

Héléne Starynkevitch tem um BTS em Ótica-Oculista do Institut et Centre d'Optométrie (ICO) em Bures sur Yvette (2013) e licenciou-se em Tecnologias da Saúde, com especialização em Ciências da Visão, na universidade de Orsay Paris Sud XI (2016). É atualmente engenheira de desenvolvimento no departamento I&D da Essilor Instruments. Trabalha no desenvolvimento de métodos e algoritmos de exames oftalmológicos associados a novos instrumentos e na criação de interfaces para os médicos. É igualmente responsável por estudos de optometria relacionados com a comparação de instrumentos e/ou com as metodologias dos exames oftalmológicos. Héléne trabalhou também como voluntária para a VisionSoliDev na realização de exames oftalmológicos para pessoas desfavorecidas.



Gildas Marin

Responsável de Estudos I&D
Serviços I&D Ciências da Visão
Essilor International

Gildas Marin obteve o seu diploma de técnico de ótica em 1993 e prosseguiu os seus estudos com uma tese em imagiologia médica, defendida em 1997, no instituto de ótica e hospital de Pitié-Salpêtrière (Paris). Desde 2006, é responsável de desenvolvimento no departamento de ciências da visão na Essilor International. As suas principais áreas de investigação são a modelização da visão, a simulação de efeitos óticos e de desempenhos visuais, nomeadamente o impacto das aberrações óticas na visão. Mais recentemente, trabalhou no desenvolvimento de métodos de refração. A partir de 2015, foi responsável pelo programa de investigação para o desenvolvimento e validação de algoritmos e de métodos de refração exata implementados no Vision-R™ 800 e na oferta AVA™ (Advanced Vision Accuracy).



Dominique Meslin

Diretor de Soluções de Refração
Divisão de Instrumentos
Essilor International

Com formação em Ótica e Optometria, Dominique Meslin fez a maior parte da sua carreira na Essilor, inicialmente no departamento de Investigação e Desenvolvimento e, posteriormente, em diferentes funções técnicas de Marketing e Comunicação em França, bem como nos Estados Unidos. Durante 10 anos, foi Diretor da Essilor Academy Europe e, posteriormente, foi responsável de Relações Profissionais para a Essilor Europe. Atualmente, é responsável pelas novas Soluções de Refração na Divisão de Instrumentos da Essilor International. Ao longo da sua carreira, Dominique Meslin orientou vários seminários para os profissionais da visão. É autor de várias publicações científicas e de inúmeras publicações da Essilor, incluindo a série "Cadernos de Ótica Oftálmica".

Há quase um século que a técnica de refração utilizada para a determinação do cilindro corretor de um paciente permanece praticamente inalterada. Consiste, universalmente, em utilizar um cilindro cruzado "de Jackson" e estudar a variação dos seus efeitos em diferentes posições, no sentido de determinar o eixo do cilindro, depois a sua potência e, de seguida, ajustar o efeito da potência da esfera. Se esta técnica permaneceu praticamente sem alterações desde a sua invenção, deve-se basicamente ao facto de os próprios forópteros subjetivos terem evoluído pouco: há quase um século que apenas permitem introduzir lentes esféricas e cilíndricas diante dos olhos de um paciente, através de intervalos de potência de 0,25 dioptrias e intervalos de eixo de 5 graus, e permitindo intervir simultaneamente na esfera, cilindro e eixo da correção.

Atualmente, graças aos novos forópteros com variações contínuas de potências, controlados com uma precisão de 0,01 dioptrias de potência e de 1 grau de eixo, e que permitem intervir em simultâneo na esfera, cilindro e respetivo eixo^(*), é possível oferecer uma nova abordagem à refração subjetiva, denominada "Digital Infinite Refraction™" (1). Assim, foi possível desenvolver um método vetorial, mais coerente e mais rigoroso, para a determinação do cilindro. O objetivo desta publicação é apresentar os princípios e explicar a lógica do mesmo.

Neste primeiro artigo, recordaremos a definição vetorial da refração e a sua representação no "Intervalo Dióptrico". De seguida, iremos comparar, de maneira geral, os métodos da Refração Tradicional e da "Digital Infinite Refraction™".

Posteriormente, numa segunda parte (e num segundo artigo), iremos descrever ao pormenor as técnicas utilizadas na Refração Tradicional e na "Digital Infinite Refraction™" para a demonstração do eixo do cilindro e para a demonstração da potência do cilindro. Por último, numa terceira parte (e num terceiro e último artigo), iremos descrever o princípio e a lógica do novo método de determinação do cilindro proposto pela "Digital Infinite Refraction™", em comparação com

PALAVRAS-CHAVE

Refração subjetiva, refração vetorial, intervalo dióptrico, determinação do cilindro, cilindros cruzados, foróptero, algoritmo de refração, Vision-R™ 800.

(*) Foróptero Vision-R™ 800 com variações contínuas de potências da Essilor Instruments

o método de Refração Tradicional, e discutiremos a sua aplicação no desenvolvimento de um algoritmo automatizado de demonstração do cilindro.

Convidamo-los assim para uma descoberta aprofundada e uma descrição detalhada de um novo método vetorial de determinação do cilindro corretor. Para a perfeita compreensão do conteúdo deste artigo, é necessário ter um bom conhecimento e compreensão dos princípios clássicos básicos da refração.

1) Representação vetorial do cilindro num intervalo dióptrico

Expressão "Polar" vs. expressão "Cartesiana" da refração:

Embora na ótica oftálmica exista a tradição de exprimir a fórmula de uma refração através da sua "expressão polar" - esfera, cilindro e eixo - também é possível dar-lhe uma "expressão cartesiana" sob a forma de 3 coordenadas:

- 1) a esfera equivalente ou esfera média M , igual à potência da esfera acrescida de metade da potência do cilindro,
- 2) a componente do cilindro com base no eixo horizontal a 0° ($J0^\circ$), representando a componente direta / indireta do astigmatismo,
- 3) a componente oblíqua do cilindro com base no eixo oblíquo a 45° ($J45^\circ$), representando a componente oblíqua do astigmatismo.

Esta "expressão cartesiana" tem a vantagem de exprimir a fórmula refrativa sob a forma de 3 componentes independentes e expressas, todas elas, numa unidade única e coerente, a dioptria. Estas podem substituir, de forma vantajosa, as componentes da expressão polar clássica da refração - esfera, cilindro e eixo - que são interdependentes e expressas em unidades diferentes: em dioptrias para a esfera e cilindro, e em graus para o eixo. Desta forma, a expressão cartesiana confere à refração uma fórmula global única, que facilita a sua análise e as comparações estatísticas⁽²⁾.

A título ilustrativo, é possível consultar a tabela 1, que apresenta alguns exemplos de aplicação, em coordenadas

cartesianas, das fórmulas de refração expressas em coordenadas polares clássicas. Ao ler esta tabela, é possível constatar que a expressão cartesiana de uma fórmula refrativa consiste, de certo modo, em expressar a refração sob a forma de uma componente média e de duas componentes cilíndricas puras - ou seja, com esferas médias nulas e semelhantes às fórmulas dos cilindros cruzados de Jackson - das quais uma, a $0^\circ / 90^\circ$, representa a componente horizontal / vertical do astigmatismo e a outra, a $45^\circ / 135^\circ$, representa a componente oblíqua do astigmatismo.

A relação que associa as duas expressões polar e cartesiana a uma mesma fórmula de refração obedece a um simples cálculo de trigonometria e é relativamente simples alternar entre as duas expressões:

- Se conhecer a fórmula polar clássica da refração Sph (Cyl) Eixo, poderá calcular as três coordenadas da sua expressão cartesiana através das 3 fórmulas seguintes:

- $M = Sph + Cyl / 2$;
- $J0^\circ = Cyl * \cos(2 * \text{Eixos})$;
- $J45^\circ = Cyl * \sin(2 * \text{Eixos})$.

Importa salientar que, devido ao ciclo não trigonométrico do eixo - ou seja, a sua variação de 0 até 180° e não de 0° até 360° -, é necessário duplicar o valor do eixo do cilindro.

- Por outro lado, se conhecermos as duas componentes cartesianas do cilindro, $J0^\circ$ e $J45^\circ$, é fácil determinar as suas componentes polares, cilindro e eixo, através da sua composição vetorial; e, para encontrar o valor da esfera, basta subtrair algebricamente a metade do valor do cilindro da metade da esfera equivalente. As fórmulas são então as seguintes, de acordo com o cilindro negativo:

- $Sph = M - Cyl / 2$
- $Cyl = -\sqrt{J0^{o2} + J45^{o2}}$
- $Eixo = 0,5 * \text{Arco Tangente}(J45^\circ / J0^\circ) + C$, com C constante igual a 90 se $J0^\circ > 0$, e igual a 0 se $J0^\circ < 0$.

Por motivos de simplicidade de compreensão e de facilidade de representação gráfica, nesta publicação optámos, por um lado, por não manter a ponderação de $1/2$ entre os valores dos componentes $J0^\circ$ e $J45^\circ$ do cilindro, por um lado, e, por outro lado, a potência esférica equivalente M , pois, de modo geral, é esse o caso na

Tabela 1: Expressão polar e cartesiana das diferentes fórmulas de refração

EXPRESSÃO POLAR			EXPRESSÃO CARTESIANA		
Esfera	Cilindro	Eixo	M	$J0^\circ$	$J45^\circ$
+2,00			+2,00	0,00	0,00
-2,00			-2,00	0,00	0,00
Plano	-2,00	0	-1,00	-2,00	0,00
Plano	-2,00	90	-1,00	+2,00	0,00
Plano	-2,00	45	-1,00	0,00	-2,00
Plano	-2,00	135	-1,00	0,00	+2,00
+1,00	-2,00	120	0,00	+1,00	+1,73
+1,00	-2,00	30	0,00	-1,00	-1,73

literatura sobre a expressão vetorial da refração. O princípio continua a ser o mesmo, mas a compreensão é assim facilitada.

Representação da refração num "Intervalo Dióptrico":

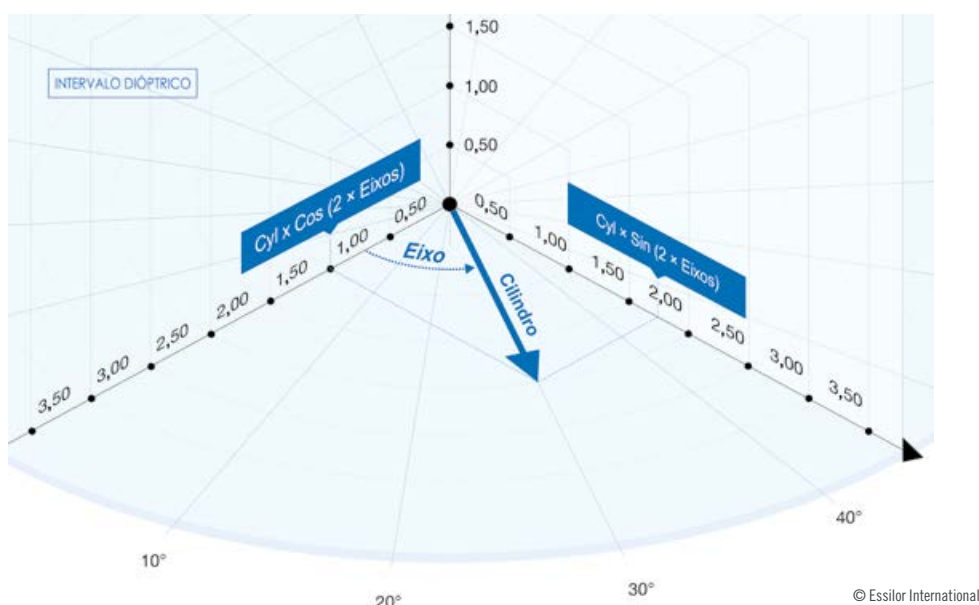
O que é interessante nesta expressão cartesiana da refração é o facto de esta permitir representar qualquer fórmula refrativa numa referência ortogonal tridimensional denominada Intervalo Dióptrico. A refração é representada por um vetor único, onde as projeções nos 3 eixos da referência constituem as coordenadas cartesianas da fórmula refrativa.

- Desta forma, são apresentadas com base nos 3 eixos:
- a potência esférica equivalente, ou esfera média M ,
 - a componente horizontal do cilindro $J0^\circ$,
 - a componente oblíqua do cilindro $J45^\circ$.

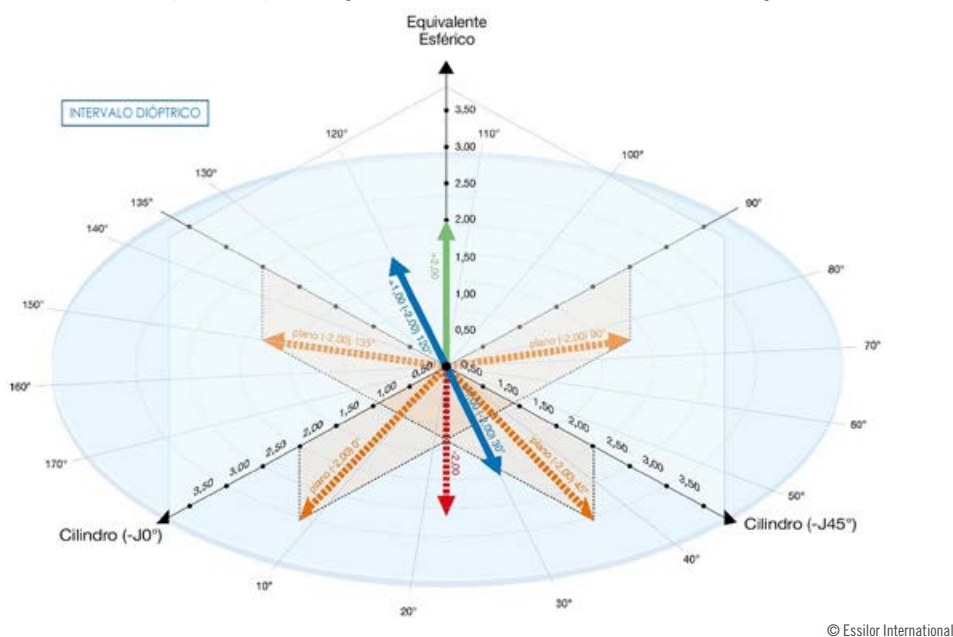
A representação tridimensional do Intervalo Dióptrico apresentado na figura 1 é uma versão adaptada da representação convencional, para a qual podemos encontrar uma explicação detalhada nas publicações de referência (2, 3, 4, 5). Esta representação permite visualizar de forma simples, e em 3 dimensões, as características de qualquer fórmula refrativa. A esfera manifesta-se com base no eixo "vertical" e o cilindro com base no plano "horizontal": o eixo do cilindro é representado pela rotação

Figura 1: Representação vetorial da refração num "Intervalo Dióptrico":

a) Coordenadas cartesianas: exemplo de uma fórmula de refração de +1,00 (2,00) 30°



b) Exemplos de representações vetoriais de diferentes fórmulas de refração



(fórmulas apresentadas na tabela 1)
 Fórmulas Esféricas: +2,00 (a verde) e -2,00 (a vermelho);
 Fórmulas Astigmáticas: plano (-2,00) com eixos de cilindro a 0°, 45°, 90°, 135° (a laranja).
 e +1,00 (-2,00) com eixos de cilindro a 30° e 120° (a azul).

à volta do eixo vertical e a potência do cilindro pela distância em relação à origem, aqui escolhida de acordo com o cilindro negativo. Esta representação permite apresentar, de forma bastante simples, qualquer fórmula refrativa sob a forma de um vetor único no espaço, e estudar as suas variações durante a refração: é esse o objetivo da "Refração Vetorial".

No resto do artigo, por uma questão de comodidade de representação gráfica, pois o vetor correspondente está situado no plano horizontal $J0^\circ / J45^\circ$, mantivemos o exemplo escolhido de uma fórmula de refração de +1,00 (-2,00) 30° , cuja potência esférica equivalente é nula. Para qualquer outra refração para a qual a potência esférica equivalente não fosse nula, a lógica seria a mesma, mas o vetor evoluiria no espaço, deixando uma marca idêntica àquela descrita no plano $J0^\circ / J45^\circ$, mas num plano horizontal paralelo a esse, correspondendo ao valor da potência esférica equivalente.

2) "Refração Tradicional" vs. "Digital Infinite Refraction™": semelhanças e diferenças.

Embora as duas técnicas de refração "tradicional" e de refração "digital" utilizem alguns princípios comuns, são fundamentalmente diferentes em alguns pontos. Vamos discutir as suas semelhanças e diferenças antes de abordá-las mais aprofundadamente nas duas partes seguintes desta publicação (ou seja, nos dois próximos artigos).

a) Refração através de "apresentações de lentes" vs. refrações através de "variações contínuas de potências":

- A técnica "tradicional" de refração é realizável através da apresentação de lentes esféricas e cilíndricas diante do olho do paciente. Pode ser realizada com óculos e lentes de teste, com forópteros "manuais" com posicionamento mecânico das lentes, ou com forópteros "automáticos" com posicionamento motorizado das lentes. Independentemente dos instrumentos de refração utilizados, o método de refração continua a ser basicamente o mesmo, e as lentes são disponibilizadas em intervalos de 0,25 dioptrias, sendo que apenas muda o modo de apresentação das lentes. Por conseguinte, as ações sobre a esfera, eixo do cilindro e potência do cilindro têm de ser realizadas separadamente, e assim sucessivamente durante a avaliação da refração.
- Em contrapartida, a técnica "digital" explora as capacidades de um módulo ótico com variações contínuas de potências, controlado por micromotores com comandos digitais. Esta tecnologia permite alternar instantaneamente entre fórmulas corretoras através da modificação das potências óticas e com o intervalo de variação desejado, determinado em 0,01 D. Adicionalmente, é possível intervir em simultâneo na esfera, eixo do cilindro e potência do cilindro; assim, é possível alternar imediatamente e de forma contínua entre diferentes fórmulas corretoras. Esta propriedade está na base da nova técnica de refração.

b) Determinação "sucessiva" dos componentes da refração vs. determinação "simultânea":

- Na técnica "tradicional" de refração, procede-se separadamente à determinação da esfera, de seguida, à do eixo do cilindro e, posteriormente, à da potência do cilindro e, por último, ao ajuste da esfera. A determinação do cilindro deve respeitar obrigatoriamente a ordem "eixo do cilindro" e, depois, "potência do cilindro"; caso contrário, pode não ser possível encontrar a potência correta do cilindro. Pois, na verdade, tanto é possível ajustar e determinar o valor exato do eixo de um cilindro, se a potência original for incorreta, como o facto de ajustar a potência de um cilindro incorreto resulta num valor diferente daquele que seria obtido com o eixo correto. É por esse motivo que, no método de refração tradicional, o eixo do cilindro é sempre obtido antes da potência do cilindro.
- Na técnica "digital" de refração, primeiro determinamos a esfera média, depois avançamos, numa única sequência, para a determinação da potência e do eixo do cilindro, mantendo a potência esférica equivalente exatamente constante, com uma resolução de 0,01 D. Para isso, temos em consideração duas componentes da refração: uma "componente de potência", de acordo com o eixo inicial da correção original, e uma "componente de eixo", que é perpendicular no intervalo dióptrico. Uma vez que estas componentes de potência e de eixo são ortogonais e independentes uma da outra, é indiferente se a demonstração do cilindro é realizada começando pela componente de eixo ou pela componente de potência. Todavia, verifica-se que as medições iniciais da refração fornecidas pelo autorrefratómetro são, em geral, mais rigorosas para o valor do eixo do que para o valor de potência. Assim, na nova técnica "digital" de refração, optou-se por começar a determinação do cilindro pela componente de potência, ao contrário do método "tradicional", que começa sempre pela determinação do eixo. Contudo, pode ser feito ao contrário.

c) Determinação do astigmatismo: cilindros cruzados "físicos" vs. cilindros cruzados "virtuais".

As duas técnicas de determinação do cilindro, a refração "tradicional" e a refração "digital", utilizam os princípios do método de "cilindros cruzados de inversão" de Jackson - com o nome do oftalmologista americano que o propôs no início do século XX - mas também com aplicações muito diferentes.

Recordamos que o cilindro cruzado é uma lente esfero-cilíndrica que resulta da combinação de duas lentes plano-cilíndricas de potências idênticas, mas com sinais contrários e posicionadas perpendicularmente em relação uma à outra - daí o nome "cilindros cruzados", e cuja potência esférica equivalente é nula. O princípio do método de determinação do cilindro corretor é introduzir este diante do olho do paciente com a respetiva correção e estudar as variações na nitidez da visão do paciente resultantes da combinação do astigmatismo residual do sistema olho + lente e do sistema de cilindro cruzado para as diferentes posições deste último.

Apesar da utilização deste método de cilindros cruzados na refração "tradicional" e na refração "digital" apresentar semelhanças, as suas aplicações são bastante diferentes:

- Na refração "tradicional", os cilindros cruzados "físicos" estão presentes no foróptero e são reorientados durante a refração. Geralmente, são utilizados cilindros cruzados +/-0,25 D ou +/-0,50 D, e as suas respetivas fórmulas óticas são +0,25 e (-0,50) e +0,50 (-1,00). Graças à sua construção, a "manivela" do cilindro cruzado tem duas posições, com eixos de cilindros positivos e negativos, de modo a que, graças à simples inversão, é possível inverter as posições, ou seja, rodar instantaneamente o eixo do cilindro cruzado de 90° sem modificar o valor da esfera. Esta propriedade é utilizada para determinar o eixo do cilindro, seguido da sua potência, determinando a orientação do eixo, seguida do valor da potência, para os quais a inversão do cilindro cruzado resulta numa visão turva idêntica para o paciente. Abordaremos esta técnica em pormenor no segundo artigo desta série.
- Na refração "digital", é utilizado um princípio ótico semelhante aos cilindros cruzados de Jackson mas, em contrapartida, não existem cilindros cruzados fisicamente presentes no foróptero. Registam-se efeitos óticos de cilindros cruzados "virtuais" no módulo ótico mediante cálculos conjugados com a correção ótica estabelecida. Consequentemente, não é necessário posicionar o cilindro cruzado diante do olho do paciente, nem suspender a visão durante a sua inversão, mas simplesmente realizar alterações às correções óticas sentidas pelo paciente, de forma imediata e contínua. Além disso, a potência do cilindro cruzado não é igual à de um cilindro cruzado clássico de +/- 0,25 D ou +/- 0,50 D: é possível optar por uma resolução de 0,01 D para facilitar a comparação entre as duas posições e a configuração durante a criação do algoritmo de determinação do cilindro: pode igualmente ser ajustada durante a refração em função da sensibilidade do paciente. Esta flexibilidade oferece excelentes possibilidades de avaliação e adaptabilidade dos métodos de refração. No exemplo analisado nesta publicação, a potência do cilindro cruzado é de +/- 0,35 D.

No segundo artigo, analisaremos em detalhe a aplicação prática destas técnicas de demonstração do cilindro e as respetivas diferenças.

d) Uma técnica tradicional "imutável" vs. uma técnica digital "evolutiva"

- Na refração "tradicional", a técnica de teste e o método de determinação do cilindro são, invariavelmente, as mesmas há mais de um século, e as suas possibilidades de evolução são diminutas. Efetivamente, os limites físicos e as restrições mecânicas impostas pelos instrumentos não oferecem essa possibilidade. Consequentemente, a realização da refração fica totalmente a cargo do prescritor, que a realiza em função das informações recebidas, da experiência adquirida e do método pelo qual optou. Isso dá origem, inevitavelmente, a uma certa variabilidade nos resultados da refração.

- Na refração "digital", as técnicas de teste e os métodos de refração utilizados são, pelo contrário, inovadores e evolutivos. Efetivamente, o controlo do módulo ótico por meio de cálculos e a sua total flexibilidade dão lugar a infinitas possibilidades de desenvolvimento de novos métodos de refração. Os primeiros algoritmos de apoio à determinação da refração foram inventados para estabelecer formalmente as primeiras lógicas de avaliação. Deverão poder contribuir para uma certa padronização dos métodos de refração. Estes algoritmos já são "adaptativos", ou seja, têm a capacidade de se adaptar aos pacientes consoante as respostas destes durante o próprio exame. Irão evoluir à medida que o conhecimento avança, e permitirão oferecer várias soluções de apoio à refração no futuro. Deste modo, a nova abordagem da "Digital Infinite Refraction™" abre porta a um vasto campo de investigação e de progresso em termos de métodos de refração.

Irmos continuar a apresentação e discussão deste tema nos próximos dois artigos.



INFORMAÇÕES RELEVANTES:

- A técnica de demonstração do cilindro sofreu poucas alterações desde que Jackson inventou o método de "cilindros cruzados" no início do século XX, devido ao facto de os próprios forópteros subjetivos para apresentação de lentes terem evoluído pouco.
- Atualmente, graças ao aparecimento dos forópteros com variações contínuas de potências, é possível propor um novo método de determinação do cilindro com base numa abordagem "vetorial" da refração.
- Esse método explora o "intervalo dióptrico" de forma mais direta, determinando simultaneamente a potência e o eixo do cilindro, enquanto mantém a potência esférica equivalente exatamente constante.
- Esta nova técnica, conjugada com as propriedades de um módulo ótico controlado de forma muito precisa e integrado em algoritmos de apoio à determinação da refração, oferece inúmeras possibilidades de evolução e de progresso em matéria de métodos de refração.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- (1) Longo A., Meslin D., Une nouvelle approche de la réfraction subjective, Cahiers d'Ophthalmologie, numéro 230, pg. 59-63, (setembro 2019); A New approach to subjective refraction, em Points de Vue, Essilor International, www.pointsdevue.com (maio 2020).
- (2) Thibos L. N., Wheeler W., Horner D., Power vectors: an application of Fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. Optom Vis Sci. jun;74(6):367-75 (1997).
- (3) Thibos, L. N., & Horner, D., Power vector analysis of the optical outcome of refractive surgery. Journal of Cataract & Refractive Surgery, 27(1), 80-85 (2001).
- (4) Touzeau O., Costantini E., Gaujoux T., Borderie V., Laroche L., Réfraction moyenne et variation de réfraction calculées dans un espace dioptrique, Journal français d'ophtalmologie, 33, 659-669 (2010).
- (5) Touzeau O., Scheer S., Allouch, Borderie V., Laroche L., Astigmatisme : analyses mathématiques et représentations graphiques, EMC - Ophtalmologie 1, pg. 117-174, Elsevier (2004).