

EIN NEUER ANSATZ FÜR DIE SUBJEKTIVE REFRAKTION

Phoropter mit stufenloser Stärkenänderung ermöglichen es, neue Methoden der subjektiven Refraktion anzubieten. Eine von ihnen besteht in der Refraktionsbestimmung mit Hilfe von halbautomatisierten Algorithmen, die die gleichzeitige Änderung von Sphäre, Zylinder und Achse in unterschiedlichen Korrektionsabstufungen ermöglichen (*). Im vorliegenden Artikel werden die allgemeinen Prinzipien vorgestellt. Gleichzeitig wird erläutert, wie diese Methode die Refraktionsbestimmung für den Refraktionierenden genauer und einfacher machen kann.



Adèle Longo

Forschungsleiterin Optometrie
Division Instrumente
Essilor International

Nach ihrem Abschluss als Optometristin am Institut des Sciences de la Vision in Saint Etienne stieg Adèle Longo im Jahr 2011 in das Low-Vision-Forschungszentrum des Institut de la Vision der Forschungs- und Entwicklungsabteilung von Essilor in Paris ein. Sie arbeitete dort an der Verbesserung der funktionellen Bewertung von Low-Vision-Patienten. Derzeit leitet sie bei Essilor Instruments ein Optometrie-Forschungsteam und berät parallel dazu Sehbehinderten-Zentren und Ausbildungsstätten.



Dominique Meslin

Direktor Refraktionslösungen
Division Instruments
Essilor International

Der ausgebildete Augenoptiker und Optometrist Dominique Meslin hat den größten Teil seiner beruflichen Laufbahn bei Essilor zugebracht, zuerst in der Forschungs- und Entwicklungsabteilung des Unternehmens, dann in verschiedenen technischen Positionen im Marketing und in der Unternehmenskommunikation in Frankreich und den USA. Nachdem er zehn Jahre lang den Posten des Direktors der Essilor Academy Europe bekleidet hatte, war er im Bereich Professional Relations bei Essilor Europe tätig. Heute ist er in der Division Instrumente von Essilor International für neue Refraktionslösungen zuständig. Im Laufe seiner Karriere hat Dominique Meslin zahlreiche Seminare für Sehspezialisten geleitet. Darüber hinaus hat er mehrere wissenschaftliche Publikationen und für Essilor zahlreiche technische Publikationen verfasst, wozu auch die Serie „Brillenoptik-Kompandium“ gehört.

Seit mehr als 150 Jahren wird die Refraktion mit Messgläsern in Korrektionsschritten von 0,25 dpt bestimmt. Die heute verwendeten Methoden für die subjektive Refraktion stammen vom Anfang des 20. Jahrhunderts. Die „Nebelmethode“ beispielsweise wurde von den 1925 veröffentlichten Forschungsarbeiten des englischen Physikers William Swaine über den Zusammenhang zwischen Unschärfe und Visus abgeleitet⁽¹⁾. Die Zylinderbestimmung mit wendbaren Kreuzzylindern schlug der amerikanische Augenarzt Edward Jackson schon 1907 vor. Diese Refraktionsmethoden werden noch heute weithin angewendet und haben sich seit ihrer Erfindung kaum verändert. Nur die Art und Weise, wie die Messgläser dem Auge des Probanden vorgehalten werden, hat sich verändert und ist heute sehr viel praktischer: Die traditionelle Messbrille, die schon im 18. Jahrhundert bekannt war, wurde zuerst um 1930 vom manuellen Phoropter und Ende der 1990er Jahre dann vom automatischen Phoropter abgelöst. Bei allen diesen Methoden werden die Messgläser in Korrektionsabstufungen von 0,25 dpt vorgehalten. Diese Refraktionsmethode hat sich seit fast 100 Jahren praktisch nicht verändert. Heute besteht die Refraktionsbestimmung sehr häufig – zu häufig – in einer einfachen subjektiven Überprüfung der mit dem Autorefraktometer erhaltenen objektiven Refraktionswerte anhand von Messgläsern in Korrektionsschritten von 0,25 dpt.

Von ihrer Konzeption her sind herkömmliche Phoropter begrenzt: Sie ermöglichen es, separat auf die Sphäre, den Zylinder und die Achslage des Zylinders einzuwirken, gestatten es aber nicht, diese drei Komponenten gleichzeitig zu ändern. Demzufolge können bei der Refraktion die drei Komponenten – Sphäre, Achse und Zylinder – nur getrennt bestimmt werden, obwohl sie eng miteinander verbunden sind. Herkömmliche Phoropter mit Messgläsern begrenzen also die Refraktionsgenauigkeit.

SCHLÜSSELBEGRIFFE

„Subjektive Refraktion“, „Digital Infinite Réfraction™“, „Dioptrierium“, „AVA™“

* Dieser neue Ansatz für die Refraktionsbestimmung wird mit dem neuen Phoropter Vision-R 800 von Essilor umgesetzt und ist in das Konzept AVA™ – Advanced Vision Accuracy – integriert.

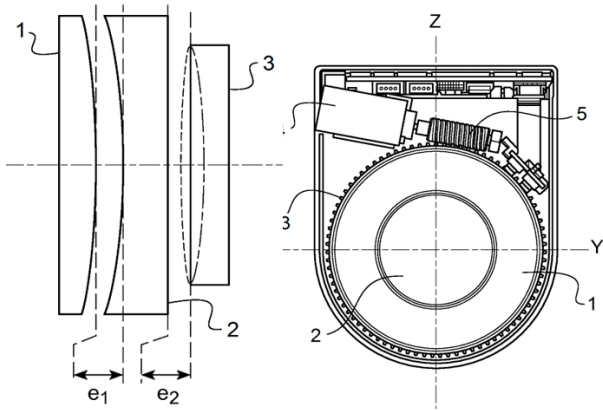


Abbildung 1: Optikmodul mit stufenloser Stärkenänderung

Eine Weiterentwicklung der augenoptischen Geräte und der Opto-Elektronik ermöglicht es nun, optische Systeme mit stufenloser Stärkenänderung hervorzubringen: Ein Optikmodul bestehend aus einer verformbaren sphärischen Linse und zwei von Mikromotoren gesteuerten wendbaren Zylinderlinsen wurde dafür entwickelt (Abbildung 1).

Dieses Modul ermöglicht es, alle Sphärenstärken (von -20,00 dpt bis +20,00 dpt in Schritten von 0,01 dpt), alle Zylinderstärken (bis 8,00 dpt in Schritten von 0,01 dpt) und alle möglichen Achslagen des Zylinders (von 0° bis 180° in Schritten von 0,1°) zu korrigieren.

Darüber hinaus können die Stärke von Sphäre und Zylinder sowie die Zylinderachse gleichzeitig verändert werden, was es ermöglicht, unverzüglich jede Refraktionskombination zu erhalten. Dies verbessert die Refraktion, macht sie effizienter und genauer.

Die herkömmliche Refraktion: ein indirekter Weg

Die herkömmliche monokulare Refraktion besteht aus vier nacheinander durchgeführten Schritten:

1. Bestimmung der Sphäre,
2. Bestimmung der Zylinderachse,
3. Bestimmung des Zylinders und
4. Abgleich der Sphäre.

Diese Methode wird universell gelehrt und angewendet und ist Gegenstand zahlreicher Publikationen.⁽²⁾

Eine Refraktion wird normalerweise anhand ihrer drei Komponenten („Polarkoordinaten“) dargestellt: Sphäre, Zylinder und Achse, wobei die beiden ersten Komponenten in Dioptrien und die dritte Komponente in Grad ausgedrückt wird. Aus Kohärenzgründen ist es möglich, jede Sehkorrektur in Form von drei dioptrischen Komponenten auszudrücken:

1. Stärke des sphärischen Äquivalents (die Sphärenstärke erhöht um die Hälfte der Zylinderstärke),
2. horizontale Zylinderkomponente in der Achse 0° (J0°) und
3. schräge Zylinderkomponente in der Achse 45° (J45°).

Diese drei Refraktionskomponenten (auch „kartesische Koordinaten“ genannt) werden in Dioptrien ausgedrückt. Kennt man die Komponenten J0° und J45°, kann man die Stärke und die Achslage des Zylinders bestimmen. Man kann also jeden Refraktionswert darstellen, indem man seine drei Koordinaten in ein orthonormiertes und standardisiertes dreidimensionales Koordinatensystem einträgt, den so genannten „Diopterraum“⁽³⁾, und die Entwicklung der Refraktion während der Sehprüfung verfolgen. Dies zeigt, dass die Refraktionsbestimmung mit der herkömmlichen Methode einen eher indirekten Weg einschlägt (Abbildung 2). Dieser besteht darin, die verschiedenen Refraktionskomponenten in verschiedenen Richtungen zu suchen, und umfasst mehrere Abgleiche:

- Ausgehend von einem Richtwert (die mit dem Autorefraktometer gemessene oder durch die Vorkorrektur erhaltene objektive Refraktion) wird eine willkürliche konvexe Wirkung eingeführt (in diesem Beispiel +1,50 dpt), um die Sehschärfe des Probanden durch „Nebelung“ stark herabzusetzen. Diese optische Wirkung wird in Schritten von 0,25 dpt nach und nach reduziert, bis der „maximale Pluswert“ der Sphäre erreicht ist (1).
- Dann wird die Zylinderachse durch aufeinanderfolgende Abgleiche gesucht (beispielsweise mit der Kreuzzylindermethode nach Jackson), bis der Proband zu verstehen gibt, dass er mit der vorigen Korrektur besser gesehen hat (2).
- Anschließend wird die Zylinderstärke durch aufeinanderfolgende Änderungen des ermittelt; diese werden fortgesetzt, bis der Proband den Wert zu hoch findet (3).
- Schließlich wird die Sphäre abgeglichen (um +0,25 dpt nach jeder Zylinderänderung um -0,50 dpt), um den Wert des sphärischen Äquivalents konstant zu halten (4).



Die Refraktion kann in einem Schritt mit in den Phoropter integrierten Algorithmen bestimmt werden, die das Resultat weniger abhängig von der Technik und der Erfahrung des Refraktionierenden machen.

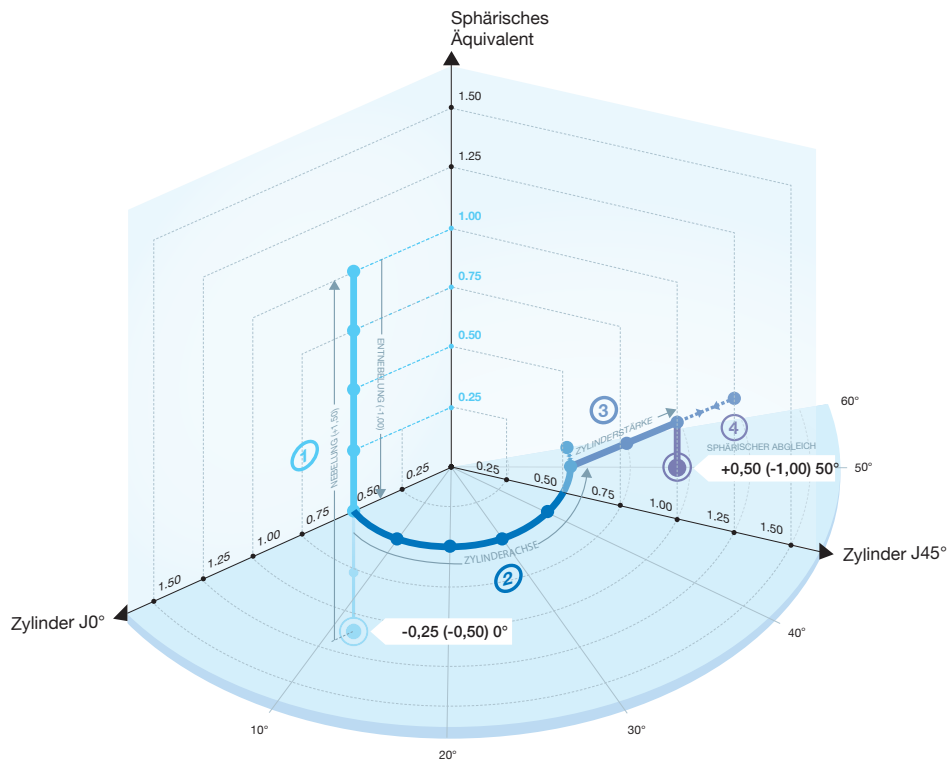


Abbildung 2: Die herkömmliche Refraktion - ein indirekter Weg

Eine herkömmliche Refraktion ähnelt also eher einer sich herantastenden Suche in verschiedene Richtungen.

Die *Digital Infinite Refraction*TM: ein direkter, präziser Weg

Das Optikmodul mit stufenloser Stärkenänderung, die ein gleichzeitiges Einwirken auf Sphäre, Achse und Zylinder ermöglicht, gestattet es, bei der Refraktionsbestimmung einen direkteren Weg einzuschlagen. Eine Reihe von Tests, die auf halbautomatischen Algorithmen basieren, in die die Antworten des Probanden nach und nach eingegeben werden, ermöglicht eine schnelle und genauere Refraktion. Die Sehprüfung mit der *Digital Infinite Refraction*TM wird folgendermaßen durchgeführt:

Suchen nach dem Schwellenwert des sphärischen Äquivalents

Zuerst wird eine neue „Nebelmethode“ angewendet, die das Entspannen der Akkommodation erleichtert: Ein halbautomatischer Algorithmus ermöglicht es, die Nebelung zu definieren, ein anderer, das Auge in drei Schritten wieder zu entnebeln. Im Gegensatz zur herkömmlichen Methode, bei der plötzlich eine konvexe Wirkung vor das Auge gehalten und die Auswirkung auf die Sehschärfe gemessen wird, besteht das Prinzip des Nebelungsalgorithmus darin, die konvexe Wirkung zu berechnen, die für eine Nebelung notwendig ist, mit der man einen bestimmten und zuvor ausgewählten Sehschärfewert erhält. Zu diesem Zweck

werden spezielle Sehzeichen vom „Vanish“-Typ verwendet (schwarze Buchstaben mit weißem Rand vor einem grauen Hintergrund); sie „verschwinden“, indem sie mit dem Hintergrund verschmelzen, wenn die gewünschte Unschärfe erreicht ist.

Die Entnebelung erfolgt dann mit einem Algorithmus, der für verschiedene, zuvor ausgewählte Visusstufen entsprechend den Antworten des Probanden und der bekannten Beziehung zwischen Sehschärfe und dioptrischer Unschärfestufe die erforderlichen Entnebelungsschritte berechnet. Diese Methode nutzt die stufenlosen Stärkenänderungen in unterschiedlich großen Entnebelungsschritten des Optikmoduls, die mit einer Genauigkeit von 0,01 dpt berechnet werden. Auf diese Weise wird schnell und genau der „maximale Pluswert“ der Sphäre, also die stärkstmögliche konvexe Wirkung berechnet, die für den Probanden zur bestmöglichen Sehschärfe führt. Daraufhin kann der Sphärenwert mit der bichromatischen Methode oder einem Test mit festen Kreuzzylindern abgeglichen werden. Dies erfolgt ebenfalls mit einem speziellen Algorithmus, der den genauen sphärischen Schwellenwert mit einer psychometrischen Methode misst und die für den Probanden bestmögliche Sehschärfe berechnet.

Gleichzeitige Bestimmung der Achslage und der Zylinderstärke bei konstanter Stärke des sphärischen Äquivalents

Bei der herkömmlichen Refraktionsbestimmung erfolgt die Suche nach der Zylinderachse, der Zylinderstärke und dem

Abgleich der Sphäre in drei aufeinanderfolgenden Schritten. Die *Digital Infinite Refraction™* hingegen verwendet einen Algorithmus, mit dem die Suche nach diesen drei Komponenten in einem Schritt ausgeführt wird. Diese Methode basiert auf einer Refraktionsbestimmung mittels Vektor-Analyse, bei der die Stärke und die Achse des Zylinders gleichzeitig verändert werden; dabei wird die Stärke des sphärischen Äquivalents auf 0,01 dpt genau konstant gehalten. Für den Refraktionierenden ähnelt diese Vorgehensweise der Kreuzzylindermethode nach Jackson, nur dass sich die Werte der Sphäre, der Achse und des Zylinders im Laufe der Eingabe der Antworten des Probanden gleichzeitig verändern und die Berechnung automatisch aufhört, wenn der Astigmatismus mit der gewünschten Präzision und Zuverlässigkeit ermittelt wurde. Es wird darauf hingewiesen, dass es im Phoropter keine physischen Kreuzzylinder gibt; die optischen Effekte der Kreuzzylinder werden im Optikmodul unter Berücksichtigung der Vorkorrektur erzeugt. Diese Methode ermöglicht es, den Zylinderwert auf direkte und präzise Weise und unabhängig von der Technik des Refraktionierenden zu ermitteln (Abbildung 3).

Bestimmung des exakten binokularen Gleichgewichts

Wenn die Refraktion beider Augen bestimmt ist, müssen die Korrekturwerte des rechten und des linken Auges abgeglichen werden. Die herkömmliche Methode besteht darin, beide Augen leicht zu nebeln (beispielsweise mit je +0,50 dpt), die Unschärfe dann auszugleichen (durch Hinzufügen einer zusätzlichen konvexen Wirkung vor dem Auge, das besser sieht) und schließlich die beiden Nebelungslinsen zu entfer-

nen. Das perfekte binokulare Gleichgewicht kann nicht immer erhalten werden; ist dies nicht möglich, muss man sich für das rechte oder linke Auge entscheiden, wobei das Führungsaugen bevorzugt werden sollte.

Die *Digital Infinite Refraction™* wendet ein ähnliches Prinzip an, jedoch wird das binokulare Gleichgewicht mit einem halbautomatischen Algorithmus nach Integration aller Antworten des Probanden auf 0,01 dpt genau berechnet.

Der Refraktionierende gibt die Antworten ein und beobachtet den Wechsel der Präferenzen des Probanden bei der Sehvernehmung mit dem rechten bzw. linken Auge, bis der Algorithmus stoppt.

Bestimmung der Addition

Für die Bestimmung der Addition, also des Nahzusatzes, wendet die *Digital Infinite Refraction™* zwei Algorithmen an: einen Algorithmus, der eine Annäherung an den Additionswert ermöglicht (bei fehlender Ausgangsaddition), und einen zweiten Algorithmus für den Abgleich der Addition mit der Methode der festen Kreuzzylinder. Diese Algorithmen ermöglichen es, eine Verordnung mit einer präzisen und nicht zu hohen Addition zu erstellen.

Eine psychometrische Refraktionsmethode

Bei den mit der Methode der *Digital Infinite Refraction™* durchgeführten Tests geht es nicht darum, den gesuchten Wert exakt zu messen, wie die Rot-Grün-Gleichheit bei der

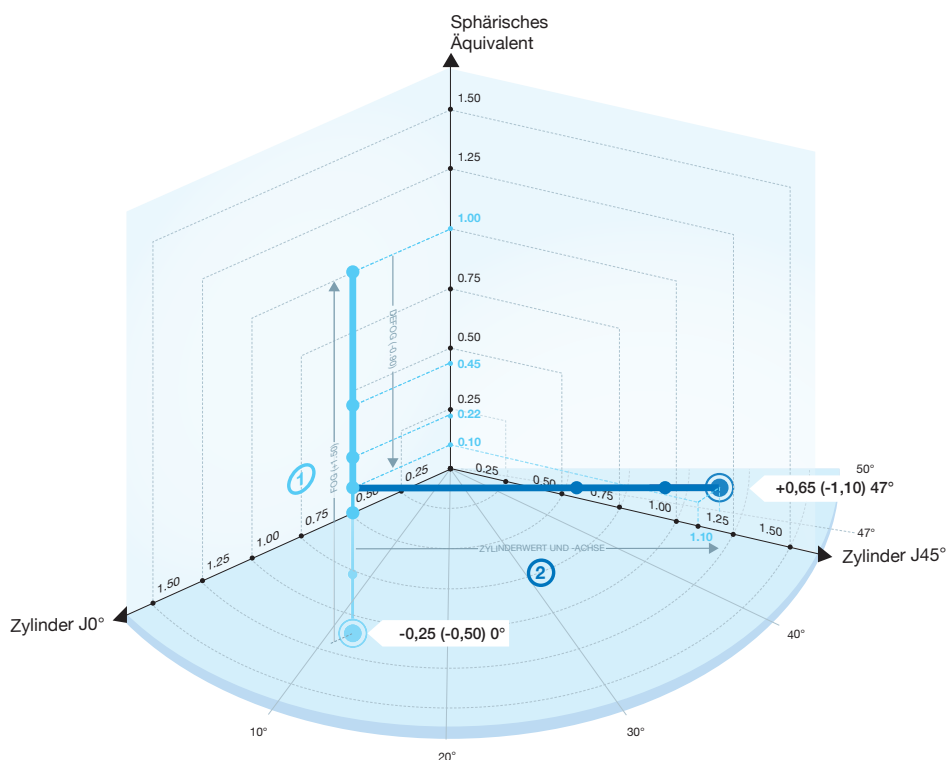


Abbildung 3: Digital Infinite Refraction™: ein direkterer und präziserer Weg zur Bestimmung der endgültigen Refraktion

bichromatischen Methode oder die Gleichheit der Unschärfe zwischen zwei Positionen des Kreuzzylinders. Es geht vielmehr darum, den gesuchten Wert zu erfassen und Änderungen der Antworten des Probanden hervorzurufen. Für die Bestimmung der Refraktionsstufen wird eine psychometrische Methode angewendet, und jeder gesuchte Wert wird auf der Basis aller Antworten des Probanden auf statistische Weise berechnet⁽⁴⁾. Im Laufe der Refraktionsbestimmung wird die Empfindlichkeit des Probanden für die dioptrischen Änderungen beurteilt und der Stärkenänderungsschritt entsprechend angepasst: Er wird reduziert, wenn der Proband empfindlich ist bzw. erhöht, wenn er nicht empfindlich ist. Dies vereinfacht es dem Probanden, die Unterschiede wahrzunehmen, und seine Refraktion kann auf präzisere Weise bestimmt werden.

Schlussfolgerung: Eine Refraktion ist keine Verordnung!

Die Weiterentwicklung der Phoroptertechnologie ermöglicht es, Refraktionsalgorithmen anzubieten, die die subjektive Refraktionsbestimmung automatisieren und objektiver machen. Diese Techniken können den Refraktionierenden bei seiner täglichen Arbeit unterstützen, entledigen ihn aber nicht seiner Aufgabe, die Rezeptwerte zu ermitteln. In der Praxis kann die Refraktion in einem ersten Schritt mit in den Phoropter integrierten Algorithmen bestimmt werden, die das Resultat weniger abhängig von der Technik und der Erfahrung des Refraktionierenden machen. In einem zweiten Schritt werden die Rezeptwerte folgendermaßen ermittelt: Entweder wird die erhaltene Refraktion unverändert beibehalten oder sie wird entsprechend der Vorkorrektur des Probanden, seinen Sehbedarfen, der Art und Weise, wie er seine Sehhilfe trägt, oder dem Brillenglas- oder Kontaktlinsentyp angepasst.

Die technologischen Fortschritte im Bereich der Refraktionsgeräte vereinfachen die subjektive Refraktionsbestimmung und dürften dazu beitragen, sie genauer zu machen. Dies kann das kollaborative Arbeiten fördern und zu einer effizienteren augenoptischen Versorgung beitragen.



DAS WESENTLICHE IN KÜRZE

- Für die subjektive Refraktionsbestimmung gibt es eine neue Generation von Phoroptern mit stufenloser Stärkenänderung: Die optische Wirkung von Sphäre und Zylinder wird in Schritten von 0,01 dpt und die Zylinderachse in Schritten von 0,1° bestimmt. Dabei kann gleichzeitig auf Sphäre, Zylinder und Achse eingewirkt werden.
- Dank dieser Technologie konnte eine neue Refraktionsmethode entwickelt werden: Statt bisherigen indirekten Weg (Sphäre, Achse, Zylinder, Abgleich der Sphäre) geht sie einen direkteren und präziseren Weg (mittlere Sphäre, Zylinder + Achse + Abgleich der Sphäre in einem Schritt).
- Statt die verschiedenen Refraktionskomponenten (Sphäre, Zylinder, Achse, binokulares Gleichgewicht) zu messen, wird bei dieser Refraktionsbestimmung anhand von halbautomatischen Algorithmen der Schwellenwert jeder Komponente auf statistische Weise ermittelt.
- Die Refraktion kann auf sehr präzise Weise in Schritten von 0,01 dpt bestimmt werden und ermöglicht so eine sehr genaue Korrektur der Fehlsichtigkeit.

LITERATURHINWEISE

1. Swaine W., The relation of visual acuity and accommodation to ametropia, Trans. Opt. Soc., Vol. 27, Nr. 1 (1925)
2. Meslin D., Cahier d'Optique Oculaire „Réfraction Pratique“, Essilor Academy Europe, www.essiloracademy.eu (2008).
3. 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)
4. Marin G., Perrin J. L., Boutinon S. und Hernandez M., A new subjective refraction methodology, Vision and Physiological Optics Conference, Athen (2018)