

I Revues générales

Répétabilité intra-examineurs et reproductibilité inter-examineurs d'une réfraction subjective

RÉSUMÉ : La répétabilité d'une réfraction subjective est limitée par divers facteurs tels que la méthode de mesure, le pas de mesure, les caractéristiques du sujet ainsi que celles de l'examineur. La reproductibilité est limitée par les mêmes facteurs que ceux de la répétabilité ainsi que par la variabilité inter-opérateurs. Répétabilité et reproductibilité sont régulièrement discutées afin de savoir, en cas de discordance, quelle est la valeur maximale de différence autorisée entre deux méthodes de réfraction, deux réfractions effectuées par la même personne à des heures différentes, ou encore deux réfractions effectuées par deux examineurs différents.

Cette revue a pour but de reprendre et d'analyser les différents articles sur le sujet afin d'examiner la plage de dispersion autorisée concernant la mesure finale de réfraction subjective, les méthodes d'analyses ainsi que les paramètres pouvant être à l'origine de cette variabilité. Ces données revêtent une importance particulière pour la prescription d'une correction optique en lunettes, lentilles ou chirurgie réfractive, et pour juger de la stabilité de la réfraction subjective.



**K. WOOG, L. PICHEREAU, V. PÉAN,
D. GATINEL**

Fondation Ophtalmologique
A. de Rothschild, CEROC, PARIS.

En ophtalmologie, la réfraction vise à déterminer la puissance du verre de lunettes permettant au sujet de bien voir, en vision monoculaire comme en vision binoculaire. La procédure de réfraction procède d'une démarche algorithmique qui aboutit à la détermination d'une correction sphéro-cylindrique (sphère – cylindre × axe). Cette correction peut néanmoins varier d'un examen à l'autre, pour de multiples raisons physiologiques et/ou liées **aux conditions de l'examen**.

Pour un sujet donné, une valeur de réfraction de référence (ou intrinsèque) pourrait être obtenue en moyennant une "infinité" de mesures sur ce même sujet. Une première étape consiste à déterminer l'intervalle au sein duquel une mesure pour ce même sujet, par un examineur donné, correspond à une variation de réfraction cliniquement non significative. Il convient ensuite de définir quel peut être cet intervalle

si on compare, non pas une, mais deux mesures par le même examineur à des moments différents ou par deux examineurs différents sur ce même sujet. Cet article consiste en une revue de la littérature consacrée à cette question.

Afin de comparer les différents résultats, certains auteurs ont conservé l'expression classique de la réfraction "sphère (S) – cylindre (C) × axe (A)" alors que d'autres ont converti ces données en vecteurs de puissance, selon la méthode décrite par Thibos *et al.* [1]. Ces vecteurs de puissances permettent d'obtenir des paramètres indépendants nommé M (pour la sphère équivalente [SE]), J0 et J45 pour les composantes cylindriques.

Dans ce contexte de détermination des erreurs de réfraction, le terme "répétabilité" est utilisé lorsque plusieurs mesures de réfraction sont obtenues par un seul praticien, sur le même sujet et dans les mêmes conditions.

La “reproductibilité”, quant à elle, est bien un terme utilisé lorsque plusieurs mesures d’une réfraction subjective ont été obtenues sur un même sujet par différents praticiens.

Facteurs pouvant être à l’origine des variations des résultats de la réfraction subjective

Plusieurs facteurs peuvent être à l’origine des fluctuations de la réfraction subjective. Il s’agit notamment de caractéristiques liées à l’examineur et au sujet, et on retrouve principalement [2] :

>>> Les fluctuations de la qualité optique de l’image rétinienne (film lacrymal instable ou corps flottants), qui peuvent gêner considérablement le sujet et conduire à des évaluations/réponses incorrectes de sa part.

>>> Le pas de mesure peut également influencer sur les résultats d’un examen de réfraction subjective. En effet, ce pas (verre ou lentille de mesure) est communément de $\pm 0,25$ D, même s’il peut être de $0,12$ D voire moindre sur certains appareils. Quand l’acuité visuelle est inférieure à la moyenne, des intervalles plus espacés sont utilisés du fait d’une moins bonne sensibilité, ce qui conduit naturellement à un niveau d’incertitude de mesure plus élevé.

>>> La méthode de questionnement de l’examineur, les réponses du sujet et la façon dont les réponses sont interprétées par l’examineur : selon Borish et Benjamin [3], la capacité à discerner les différences dioptriques varie de $0,12$ D à $1,0$ D en fonction des personnes. La tolérance à la défocalisation augmente lorsque l’acuité visuelle (AV) diminue [4-5]. Par conséquent, il est également probable que l’exactitude de la réfraction diminue dans certaines conditions.

>>> Les fluctuations physiologiques d’accommodation auxquelles la réfraction

est soumise : selon la distance de l’objet, l’accommodation fluctue avec une fréquence de $1-5$ Hz et une amplitude d’environ $\pm 0,1$ à $\pm 0,25$ D autour de l’accommodation optimale [6-8]. Le temps laissé au sujet pour identifier les lettres permet de limiter cette influence. Cependant, pour un même individu, la réfraction subjective finale peut varier de $0,25$ D en moyenne, sur la sphère comme sur le cylindre, entre deux mesures réalisées dans les mêmes conditions à la suite l’une de l’autre. Par ailleurs, les spasmes accommodatifs peuvent entraîner de réelles différences dans les résultats, et en particulier chez les jeunes hypermétropes si la réfraction est mesurée sans cycloplégie.

>>> La taille de la pupille peut entraîner des variations de la mesure de la réfraction en conditionnant la profondeur de champ de l’œil (*i.e.* plus la pupille est petite, plus la profondeur de champ est grande et plus il est difficile de distinguer entre deux impressions visuelles similaires). La réduction du diamètre pupillaire augmente la diffraction de la lumière, ce qui mène aussi à une imprécision. Ces deux effets n’entraînent probablement pas de variabilité significative de la répétabilité/reproductibilité de la réfraction, car la pupille d’un sujet est toujours approximativement de même taille si la réfraction est répétée dans des conditions de lumière comparables. Cependant, cette répétabilité/reproductibilité de l’examen de la réfraction peut varier d’un sujet à l’autre en raison des tailles différentes de pupilles.

>>> Enfin, de nombreuses pathologies, comme le diabète, ou certaines substances médicamenteuses peuvent participer aux fluctuations des résultats d’une réfraction subjective.

Répétabilité intra-examineurs

Plusieurs auteurs ont étudié la répétabilité intra-examineurs. Le **tableau I**

récapitule les différents résultats rapportés dans la littérature. Le critère statistique qui doit être utilisé pour quantifier cette répétabilité intra-sujet/intra-examineur est la limite de répétabilité, mais certaines études ont un nombre de sujets trop faible pour pouvoir conclure de façon certaine et/ou n’utilisent pas ce critère (voir plus loin).

La majorité des auteurs s’accordent sur une variation non significative de la réfraction subjective finale de $\pm 0,50$ D dans 95 % des cas. Ces résultats sont aussi en accord avec Kratz *et al.* [14], Jennings *et al.* [15] et Freeman *et al.* [9] mais ils sont, en revanche, inférieures à la valeur proposée par Zadnik *et al.* [10] qui est de $\pm 0,63$ D et qui possède le plus grand nombre de sujets avec un large panel d’amétropies.

Reproductibilité inter-examineurs

Plusieurs auteurs ont étudié la reproductibilité inter-examineurs. Le **tableau II** récapitule les différents résultats rapportés dans la littérature. Le paramètre statistique de référence pour évaluer la reproductibilité est également dénommé limite de concordance, plus généralement désigné par l’acronyme LoA pour *Limits of Agreement* [23], et va dépendre de l’écart type de la moyenne des variances intra-sujets/inter-examineurs. C’est à partir de la valeur de ce paramètre que sera appréciée la concordance entre deux examinateurs différents. En dehors de certaines études, et de même que pour les études de répétabilité, il est important de noter que le nombre de sujets est parfois faible pour pouvoir conclure de façon certaine.

Alors qu’un praticien peut être en mesure d’effectuer une réfraction avec une précision de $\pm 0,25$ D (pas de mesure habituel), les réfractions effectuées par différents spécialistes sur des sujets appariés par âge et amétropie peuvent différer au regard de la limite de reproductibilité de $0,75$ D ou plus (notamment sur la SE) [16, 24].

Revue générale

Auteurs	Examineurs	Nombre de réf sur 1 même sujet	Nombre de sujets ou yeux dans l'étude	Amétropies	Tranche d'âge	Conclusions des auteurs
Freemann et Hod, 1955 [9]	1	5	17	Emmétrope à hypermétrope	19-38 ans	Moyenne des différences en valeur absolue : 0,13 D (S) 0,080 (C) 4° (axe)
Zadnik <i>et al.</i> , 1992 [10]	2	2	40	-10 D à +2 D Cyl de 0 à -1,50 D	20-43 ans	Sans cycloplégique 95 % LoA : ± 0,63 D Remarque : Il semble y avoir une certaine confusion entre répétabilité et reproductibilité
Rosenfield et Chiu, 1995 [11]	1	5	12	Moyenne -1,79 de sph et -0,45 de cyl	23-60 ans	95 % LoA (attention : ici est donnée la moyenne des SD et non des variances, les valeurs présentées sont donc plus faibles que celles réellement obtenues) : ± 0,30 D pour SE ± 0,27 D pour S ± 0,16 D pour C ± 17,1° pour A
Smith <i>et al.</i> , 2006 [12]						95 % LoA : 0,6 D
Goss et Grosvenor, 1996 [13]						Revue littéraire Concluent sur : 80 % LoA à 0,25 D près 95 % LoA à 0,50 D près (S, SE, C)

Tableau 1 : Résultats des études sur la répétabilité intra-examineurs dans la littérature. LoA : *Limits of Agreement*; SD : écart-type; SE : sphère équivalente; C : cylindre; A : axe.

Par ailleurs, il a été rapporté que répétabilité et reproductibilité de la réfraction dépendent de l'acuité visuelle (AV) des sujets. Plus l'AV diminue, plus la valeur seuil augmente (réduction de la reproductibilité) [18].

Il est intéressant de noter que plus le panel d'amétropes est large et/ou plus le nombre de sujets inclus dans l'étude est grand, plus la LoA obtenue est grande.

Discussion

En étudiant l'ensemble des résultats des études de répétabilité, on peut déduire que la LoA se situe autour de 0,50 D (SE entre ± 0,30 D à ± 0,63 D). La différence

entre une mesure sur un sujet par un examinateur et la vraie valeur intrinsèque mesurée est attendue être inférieure à la LoA dans 95 % des observations. De cette valeur de LoA, on peut calculer la limite de répétabilité. Celle-ci est égale à $\sqrt{2} \times 0,5$, soit 0,71 D. Cette valeur correspond à la limite de répétabilité obtenue en calculant la différence entre deux mesures consécutives sur le même sujet par le même examinateur (voir définitions et démonstration en *annexe*). La différence entre **2 mesures** sur un sujet par le même examinateur est attendue être inférieure à cette valeur pour 95 % des paires d'observations.

Cependant, comme évoqué pour la plupart des études citées, le nombre de sujets

inclus reste assez faible et ces dernières ne précisent pas l'intervalle de confiance des bornes, qui devrait être défini lorsque l'on applique la méthode de Bland-Altman [23] pour calculer la LoA.

Si l'on regarde les études qui ont étudié la reproductibilité des mesures, les valeurs rapportées sont assez similaires. Cependant, pour celles qui ont inclus un large panel de sujets (Zadnik *et al.* sur 40 sujets [10], Bullimore sur 86 sujets [22]), ou d'examineurs (40 examineurs pour un sujet : MacKenzie [16]), les limites de concordance (LoA) à 95 % sont supérieures aux autres et se rapprochent d'une valeur limite de répétabilité/reproductibilité de 0,75 D.

Auteurs	Examineurs	Nombre de réf sur 1 même sujet	Nombre de sujets ou œils dans l'étude	Amétropies	Tranche d'âge	Conclusions des auteurs
MacKenzie, 2008 [16]	40	40	1	Petite myopie	29	95 % LoA (sur les SD : reproductibilité) : $\pm 0,549$ D (SE), $\pm 0,47$ D (C) Limite de reproductibilité – " $\times 1,96 \times$ SD intra-sujet/inter-examineur (ici $0,549$ D)" : $\pm 0,78$ D (SE)
Pesudovs <i>et al.</i> , 2007 [17]	4	4	16			95 % LoA : $\pm 0,484$ D (SE) $0,345$ D (composante cyl) $0,611$ D : vecteur total Remarque : pas de détail du calcul
Grein <i>et al.</i> , 2014 [2]	6	2	20	SE entre $-6,19$ et $+1,98$ D Cyl entre $0,08$ et $4,32$ D	28-72 ans	95 % LoA : $\pm 0,2$ D à $\pm 0,65$ D pour la SE et cylindre
Goss et Grosvenor, 1996 [13]						Revue littéraire : 80 % LoA à $0,25$ D près, 95 % LoA à $0,50$ D près (S, SE, C)
Leinonen <i>et al.</i> , 2006 [18]	8	2 (la réf de la 2 ^e visite est faite par la même personne)	22 sujets sains (T = 99, incluant cataracte et pseudophaque)	$-6,1$ D à $+3,8$ D	26-89 ans	<ul style="list-style-type: none"> 95 % LoA (sur l'ensemble des sujets) : $\pm 0,74$ D (SE), $\pm 0,34$ D (C) 95 % LoA (AV entre $0,3$ et $0,45$) : $\pm 1,14$ D (SE) 95 % LoA (AV $\geq 0,7$) : $\pm 0,51$ D (SE) Remarque : confusion entre répétabilité et reproductibilité
Sloane <i>et al.</i> , 1954 [19]	3	3	21	Myopes et faibles ou pas d'astigmatisme	14-18 ans	<ul style="list-style-type: none"> Différence $< 0,25$ D : dans 73 % (SE), dans 79 % (S), dans 81 % (C) Différence $< 0,50$ D : dans 97 % (SE), dans 90 % (S), dans 99 % (C)
French et Jennings, 1974 [20]	12	12	12		Étudiants	<ul style="list-style-type: none"> Différence $< 0,25$ D : dans 68 % (S), dans 85 % (C) Répéta meilleure lorsque réf comprise entre $-2,00$ et $+0,50$
Perrigin <i>et al.</i> , 1982 [21]	3	3	32		Étudiants	<ul style="list-style-type: none"> Accord minimal sur les 3 examineurs (pris 2 à 2) $< 0,25$ D : dans 78 % (ES), dans 88 % (S), dans 92 % (C) Accord minimal sur les 3 examineurs (pris 2 à 2) $< 0,50$ D : dans 95 % (ES), dans 98 % (S), dans 98 % (C) Axe (accord minimal pris 2 à 2) : 65 % dans les 5°, 87 % dans les 10°
Bullimore, 1998 [22]	2	2	86	SE entre $-7,50$ à $+2,50$ D Cyl max : $4,00$ D	11-60 ans	<ul style="list-style-type: none"> SE : biais entre les 2 cliniciens ($-0,12$ D) 95 % LoA : $-0,90$ à $+0,65$ D Cyl : pas de biais 95 % LoA : $-0,37$ D à $+0,39$ D

Tableau II : Résultats des études sur la reproductibilité inter-examineurs dans la littérature. LoA : *Limits of Agreement*; SD : écart-type; SE : sphère équivalente; C : cylindre; A : axe.

Revue générale

ANNEXE

La variance, l'écart-type intra-sujet, la limite de concordance (LoA) et les limites de répétabilité/reproductibilité sont tous des estimations. Ces facteurs permettent d'estimer la variabilité de mesures répétées sur le même sujet, la limite de la différence entre deux mesures sur le même sujet et la limite de la différence entre les mesures effectuées par deux méthodes différentes/deux examinateurs sur le même sujet. Ils sont exprimés dans les mêmes unités que les observations. Lorsque l'on mesure ou détermine une "vraie" grandeur (intrinsèque) M0 sur un sujet donné, des mesures répétées sur un même sujet vont varier autour de M0.

L'écart-type des mesures répétées sur un même sujet permet de mesurer l'effet d'erreur de mesure (on suppose que cet écart-type est le même pour tous les sujets – il est donc important pour une même étude de prendre un groupe de sujets "semblables"). Cet écart-type de mesures répétées est appelé écart-type intra-sujet. Si on prend un seul examinateur (répétabilité), on pourrait l'appeler écart-type intra-sujet/intra-examinateur, tandis que si on devait prendre et comparer les mesures par plusieurs examinateurs (reproductibilité), on pourrait l'appeler écart-type intra-sujet/inter-examinateur. Pour l'estimer, il faut plusieurs sujets avec au moins 2 mesures par sujets.

Par ailleurs, rappelons que:

>>> L'estimation de la variance est la somme des carrés des écarts par rapport à la moyenne/(nombre de mesures - 1):

$$V = \frac{n_1(x_1 - \bar{x})^2 + n_2(x_2 - \bar{x})^2 + \dots + n_p(x_p - \bar{x})^2}{N - 1}$$

Cette formule intègre des carrés dans le but d'éviter que les écarts (x_n) par rapport à la moyenne \bar{x} ne s'annulent car ils peuvent être positifs ou négatifs.

>>> L'estimation de l'écart-type est la racine carrée de l'estimation de la variance: $\sigma = \sqrt{V}$

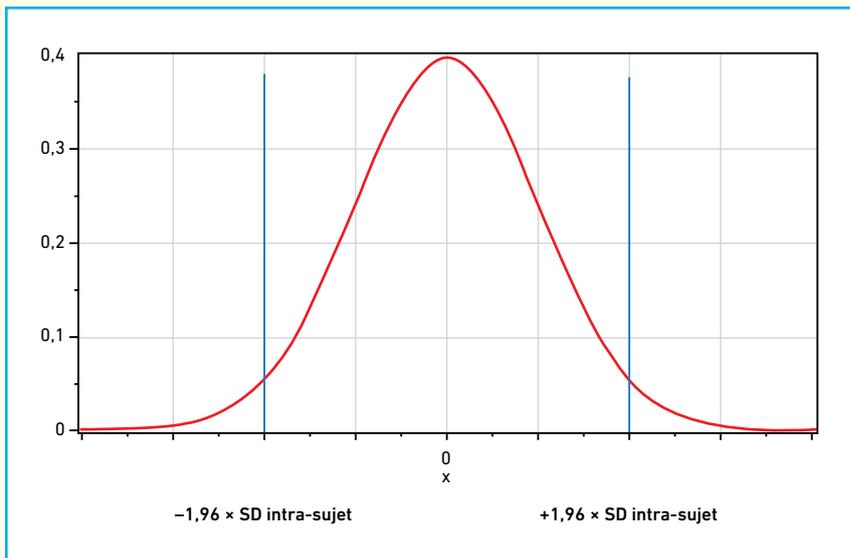


Fig. 1.

La différence entre 1 mesure sur 1 sujet et sa "vraie" mesure M0 pour un même examinateur est attendue être inférieure (en valeur absolue) à $\pm 1,96 \times$ écart-type intra-sujet. **Cet intervalle est également appelé LoA (Limits of Agreement) (fig. 1).**

La différence entre 2 mesures M1 et M2 (faites par le même examinateur) sur 1 sujet est attendue être inférieure (en valeur absolue) à $\sqrt{2} \times 1,96 \times$ écart-type intra-sujet/intra-examinateur. **C'est ce qu'on appelle la limite de répétabilité.**

Car:
Variance (M1 - M2) = Variance (M1) + Variance (M2)

Or:
Variance (M1) = variance intra-sujet et Variance (M2) = variance intra-sujet

Donc:
Variance (M1 - M2) = 2 x variance intra-sujet

Or:
Écart-type = $\sqrt{\text{variance}}$

Donc:
Écart-type (M1 - M2) = $\sqrt{2 \times \text{variance intra-sujet}} = \sqrt{2} \times \sqrt{\text{variance intra-sujet}} = \sqrt{2} \times \text{écart-type intra-sujet}$

On peut, en utilisant le même principe, **calculer la limite de reproductibilité**. Supposons que 10 sujets soient examinés par 10 examinateurs. On peut calculer la variance des mesures des 10 examinateurs sur le sujet 1, la variance des mesures des 10 examinateurs sur le sujet 2, etc. Une fois les variances obtenues, on calcule la moyenne de celles-ci. La racine carrée de la variance fournit l'écart-type (SD pour Standard Deviation). La LoA sera de $1,96 \times \text{SD}$ et la limite de reproductibilité sera de $\sqrt{2} \times 1,96 \times \text{SD}$ intra-sujet/inter-examinateur.

Ainsi, entre la limite de répétabilité et celle de reproductibilité, ce sera l'écart-type mesuré qui potentiellement pourra amener à obtenir des résultats différents.

POINTS FORTS

- La correction optique peut varier d'un examen à l'autre pour de multiples raisons physiologiques et/ou liées aux conditions de l'examen.
- Un grand nombre d'études montrent que, dans 95 % des cas, la réfraction subjective variait de $\pm 0,50$ D sur la sphère équivalente, la sphère et la puissance cylindrique lors de mesures intra-examineurs (mesures répétées par le même examineur).
- Il est cependant intéressant de noter que si le nombre de sujets inclus dans l'étude est grand et donc proche des critères attendus par la méthode statistique qui permet d'apprécier l'écart observé entre les deux valeurs obtenues pour une même mesure, alors la limite de répétabilité/reproductibilité est supérieure ou égale à 0,71 D, et plus particulièrement lors de mesures inter-examineurs.
- La méthode de réfraction idéale combine à la fois la capacité du praticien à enchaîner des réfractations répétées tout en étant reproductible vis-à-vis de ses confrères.

Il est intéressant de remarquer que la limite de reproductibilité trouvée dans ces études est légèrement plus importante que celle obtenue dans les études de répétabilité. Il sera plus probable de trouver une plus grande variabilité de mesure entre deux examineurs plutôt que pour un même examineur qui répète plusieurs fois la mesure. Cependant, cette différence reste assez faible, ce qui permet de poser la question de l'importance du poids de la variabilité de la réfraction du sujet, selon les facteurs évoqués en première partie, au sein des résultats obtenus pour chacune des catégories d'études (répétabilité et reproductibilité).

■ Conclusion

Les résultats de ces études, parfois confus en matière de distinction entre répétabilité et reproductibilité, viennent conforter néanmoins la conclusion de Bannon [25] selon laquelle la mesure de la réfraction subjective conventionnelle pour un examineur donné serait

fiable dans un intervalle compris entre 0,25 et 0,50 D de part et d'autre de la composante étudiée. Si on reprend la revue de Goss et Grosvenor [13], dans 80 % des cas, la réfraction subjective varierait de $\pm 0,25$ D et, dans 95 % des cas, de $\pm 0,50$ D. Ainsi, la réfraction mesurée sur un sujet donné par un examineur (répétabilité) est attendue être inférieure à 0,50 D de la valeur de réfraction intrinsèque du sujet. En revanche, il est important de noter que, si l'on compare deux mesures entre elles par un même examineur sur ce sujet donné, il faut alors considérer la limite de répétabilité qui est de 0,71 D pour une LoA de 0,50 D ($(\sqrt{2} \times 0,50) = 0,71$ D).

De plus, d'un point de vue statistique, les études les plus précises, aussi bien sur le protocole que sur le nombre de sujets, semblent montrer une limite de répétabilité et de reproductibilité supérieure à 0,71 D. On peut alors se poser la question de la différence clinique supposée acceptable dans le cadre de la répétabilité comme de la reproductibilité, ainsi que de la pertinence d'une

nouvelle étude qui analyserait ces deux paramètres, selon un protocole strict et rigoureux, incluant un nombre de sujets calculé de façon précise en amont afin de répondre aux exigences de la méthode statistique de Bland-Altman [23].

Les données de fiabilité sur l'axe du cylindre sont un peu plus difficiles à interpréter car la fiabilité s'améliorerait à mesure que la puissance du cylindre augmente. Ainsi, l'intervalle de confiance pour l'axe du cylindre dépendrait de la puissance du cylindre [13].

La méthode de réfraction idéale est donc une méthode combinant une très bonne fiabilité (répétabilité) ainsi qu'une excellente validité (reproductibilité). En d'autres termes, la méthode de réfraction idéale combine à la fois la capacité du praticien à enchaîner des réfractations répétées tout en étant reproductible vis-à-vis de ses confrères experts. Une méthode répétable mais d'une reproductibilité limitée ne sera pas pertinente pour la prescription d'une correction optique (lunettes, lentilles ou chirurgie réfractive), elle restera cependant utile pour juger de la stabilité de la réfraction subjective et donc identifier des variations d'amétropie.

Afin donc de juger de la validité de la prescription d'un sujet, il est essentiel de vérifier que la méthode de réfraction subjective utilisée est répétable et reproductible.

BIBLIOGRAPHIE

1. THIBOS LN, WHEELER W, HORNER D. Power vectors: an application of fourier analysis to the description and statistical analysis of refractive error. *Optom Vis Sci*, 1997;74:367-375.
2. GREIN, HJ, SCHMIDT O, RITSCHKE A. Reproducibility of subjective refraction measurement. *Ophthalmologe*, 2014;111:1057-1064.
3. BORISH IM, BENJAMIN WJ. Monocular and binocular subjective refraction. In: Benjamin NJ (ed). *Borish's clinical refraction*. WB Saunders, 1998:629-630.

I Revues générales

4. LEGGE GE, MULLEN KT, WOO GC *et al.* Tolerance to visual defocus. *J Opt Soc Am*, 1987;4:851-863.
5. LEINONEN J, LAAKKONEN E, LAATIKAINEN L. Random measurement error in visual acuity measurement in clinical settings. *Acta Ophthalmol Scand*, 2005;83: 328-332.
6. CAMPBELL FW, ROBSON JG, WESTHEIMER G. Fluctuations of accommodation under steady viewing conditions. *J Physiol*, 1959;145:579-594.
7. DENEUL P. Effects of stimulus vergence on mean accommodation response, microfluctuations of accommodation and the optical quality of the human eye. *Vision Res*, 1982;22:561-569.
8. GRAY LS, WINN B, GILMARTIN B. Accommodative microfluctuations and pupil diameter. *Vision Res*, 1993;33:2083-2090.
9. FREEMAN H, HODD FAB. Comparative analysis of retinoscopic and subjective refraction. *Br J Physiol Opt*, 1955;12: 8-36.
10. ZADNIK K, MUTTI DO, ADAMS AJ. The repeatability of measurement of the ocular components. *Invest Ophthalmol Vis Sci*, 1992;33:2325-2333.
11. ROSENFELD M, CHIU NN. Repeatability of subjective and objective refraction. *Optom Vis Sci*, 1995;72:577-579.
12. SMITH G. Refraction and visual acuity measurements: what are their measurement uncertainties? *Clin Exp Optom*, 2006;89:66-72.
13. GOSS DA, GROSVENOR T. Reliability of refraction: a literature review. *J Am Optom Assoc*, 1996;67:619-630.
14. KRATZ LD, FLOM MC. The Humphrey Vision Analyzer: reliability and validity of refractive-error measures. *Am J Optom Physiol Opt*, 1977;54:653-659.
15. JENNINGS JAM, CHARMAN WN. A comparison of errors in some methods of subjective refraction. *Ophthalm Opt*, 1973;13:8-11.
16. MACKENZIE GE. Reproducibility of sphero-cylindrical prescriptions. *Ophthalmic Physiol Opt*, 2008;28: 143-150.
17. PESUDOV K, PARKER KE, CHENG H *et al.* The precision of wavefront refraction compared to subjective refraction and autorefraction. *Optom Vis Sci*, 2007;84:387-392.
18. LEINONEN J, LAAKKONEN E, LAATIKAINEN L. Repeatability (test-retest variability) of refractive error measurement in clinical settings. *Acta Ophthalmol Scand*, 2006;84:532-536.
19. SLOANE AE, OUNPHY EB, EMMONS WV *et al.* A comparison of refraction results on the same individuals. *Am J Ophthalmol*, 1954;37:696-699.
20. FRENCH CN, JENNINGS JAM. Errors in subjective refraction – an exploratory study. *Ophthalmic Optician*, 1974;14:797-798.805-806.
21. PERRIGIN J, PERRIGIN O, GROSVENOR T. A comparison of clinical refractive data obtained by three examiners. *Am J Optom Physiol Opt*, 1982;59:515-519.
22. BULLIMORE MA, FUSARO RE, ADAMS CW. The repeatability of automated and clinician refraction. *Optom Vis Sci*, 1998;75:617-622.
23. BLAND JM, ALTMAN DG. Measurement error. *BMJ*, 1996;313:744-753.
24. SHEEDY J, SCHANZ P, BULLIMORE M. Evaluation of an automated subjective refractor. *Optom Vis Sci*, 2004;81: 334-340.
25. BANNON RE. A new automated subjective optometer. *Am J Optom Physiol Dpt*, 1977;54:433-438.

Les auteurs ont déclaré ne pas avoir de conflits d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.