

ERG multifocal avec électrodes ERG-jet et Gold Foil chez le sujet normal : comparaison et reproductibilité

C. Thimonier (1), P. Daubas (2), L. Bourdon (1), V. Deral-Stephant (3), J.-P. Menu (1), R. Vignal (3), C. Roux (3)

(1) Institut de Médecine Navale du Service de Santé des Armées, Toulon Armées.

(2) Hôpital d'Instruction des Armées Legouest, Metz Armées.

(3) Service Ophtalmologie, Hôpital d'Instruction des Armées Sainte-Anne, Toulon Armées.

Correspondance : C. Thimonier, Institut de Médecine Navale du Service de Santé des Armées, BP 610, 83800 Toulon Armées.

E-mail : c_thimonier@yahoo.fr

Reçu le 9 octobre 2007. Accepté le 15 avril 2008.

Multifocal ERG using ERG-jet and Gold Foil electrodes in normal subjects: comparison and reproducibility

C. Thimonier, P. Daubas, L. Bourdon, V. Deral-Stephant, J.-P. Menu, R. Vignal, C. Roux
J. Fr. Ophthalmol., 2008; 31, 6: 585-590

Purpose: To compare multifocal electroretinogram (mfERG) amplitudes with the Gold Foil electrode and ERG-jet electrode. To study mfERG amplitude changes between two successive records (intraindividual reproducibility).

Methods: The right eye of 27 normal subjects was examined. Two mfERG recordings using the 61-hexagon strategy (Vision Monitor, Métrovision, France) were made with both ERG-jet and Gold Foil electrodes. N1 and P1 wave amplitudes were analyzed in the central response and in four concentric rings. Bland and Altman analysis was used for the reproducibility study.

Results: MfERG amplitudes were significantly lower with the Gold Foil electrode, which averaged $72 \pm 10\%$ of ERG-jet amplitudes. For N1 and P1 waves, the percentage change for the intraindividual reproducibility study was 9.1% and 6.7%, respectively, with the ERG-jet electrode and 18.2% and 13.5%, respectively, with the Gold Foil electrode.

Conclusion: MfERG amplitudes were larger and more reproducible with an ERG-jet electrode than with a Gold Foil electrode. The limits of agreement of each ring can be used in clinical practice to determine whether the variation between two mfERG recordings over time is normal, which could reflect a retinal disorder.

Key-words: Multifocal ERG, ERG-jet electrode, Gold Foil electrode, reproducibility.

ERG multifocal avec électrodes ERG-jet et Gold Foil chez le sujet normal : comparaison et reproductibilité

Objectif : Les objectifs de cette étude sont de comparer les amplitudes recueillies en ERG multifocal (mfERG) avec électrodes ERG-jet et Gold Foil, et d'étudier les variations de l'amplitude de l'ERG multifocal entre deux mesures successives pour mieux appréhender l'analyse de cet examen en clinique courante.

Matériels et méthodes : L'œil droit de 27 volontaires sains a été examiné. L'ERG multifocal (Moniteur Ophtalmologique, Métrovision, France) par 61 hexagones a été réalisé 4 fois successivement : deux mesures avec électrode ERG-jet et deux mesures avec électrode Gold Foil. L'amplitude des ondes N1 et P1 a été analysée par anneaux, les 61 réponses locales étant moyennées sur un découpage en cinq anneaux concentriques. L'étude de la reproductibilité a été effectuée à l'aide de l'analyse de Bland et Altman.

Résultats : Les amplitudes recueillies avec l'électrode Gold Foil étaient significativement plus faibles (en moyenne de $72 \pm 10\%$) que celles recueillies avec l'électrode ERG-jet. Les variations relatives entre deux mesures étaient en moyenne de 9,1 % et 6,7 % pour l'électrode ERG-jet et de 18,2 % et 13,5 % pour l'électrode Gold Foil, respectivement pour les ondes N1 et P1.

Conclusion : Le signal obtenu avec l'électrode ERG-jet est, pour les ondes N1 et P1, plus ample et plus reproductible qu'avec l'électrode Gold Foil. Les limites d'agrément observées pour chaque anneau peuvent être utiles lors de l'analyse d'un suivi mfERG pour déterminer si une variation est anormale, ce qui peut témoigner d'une pathologie.

Mots-clés : ERG multifocal, électrode ERG-jet, électrode Gold Foil, reproductibilité.

INTRODUCTION

La pratique d'un électrorétinogramme multifocal (mfERG) trouve sa place dans tout contrôle ou suspicion d'atteinte maculaire ou péri-maculaire [1]. Cet examen a suscité un intérêt particulier dans le suivi des patients traités par antipaludéens de synthèse, à la recherche de toute anomalie précoce de la rétine centrale, incitant à arrêter le traitement pour éviter la progression d'une maculopathie [2].

Le recueil de l'ERG multifocal comporte la pose de trois électrodes : une électrode active mise en place au contact de l'œil, des électrodes de référence et de masse placées en général sur la tempe de l'œil stimulé et au centre du front, respectivement. L'électrode active utilisée est le plus souvent incluse dans un verre de contact, comme par exemple l'ERG-jet. Cette dernière présente les qualités optiques d'une lentille rigide. Sa mise en place sur la cornée ne nécessite pas l'instillation d'un gel qui aurait l'inconvénient de brouiller la vision.

Il peut être impossible d'utiliser une électrode avec verre de contact dans des cas de traumatisme ou d'affection du segment antérieur, ou du fait d'une mauvaise coopération des patients. Dans ce cas, l'examen peut tout de même être envisagé grâce à des électrodes sans verre de contact. Cependant, il a été montré

que les potentiels électriques recueillis au niveau de l'apex cornéen sont plus amples que ceux recueillis en périphérie [3]. Autrement dit, les potentiels recueillis au moyen d'une électrode sans verre de contact sont moins amples que ceux recueillis avec une électrode avec verre de contact.

Par ailleurs, il est important de connaître les variations liées à la répétition de la mesure pour chaque type d'électrode utilisé. En effet, en pratique clinique, les variations observées entre deux examens de mfERG sont secondaires soit à une altération de cellules rétinienne, soit à la mesure elle-même. En particulier, la mesure est sensible aux mouvements : tout mouvement des yeux, de la tête ou du corps est susceptible de produire un artefact.

Les objectifs de cette étude sont d'une part de comparer l'amplitude du signal mfERG entre des électrodes avec et sans verre de contact, et d'autre part de tester la reproductibilité et la variation intra-individuelle de l'amplitude pour chacun de ces types d'électrode. Les électrodes avec et sans verre de contact étudiées étaient respectivement l'ERG-jet et la Gold Foil (fig. 1)

MATÉRIEL ET MÉTHODE

586

Vingt-sept volontaires sains, non-fumeurs, sans antécédent de pathologies ou chirurgies oculaires ou générales ont participé à cette étude après consentement éclairé et autorisation du CCPPRB de Marseille 1.

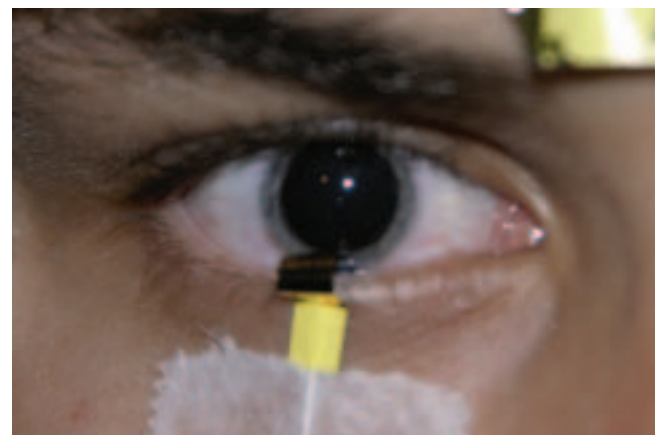
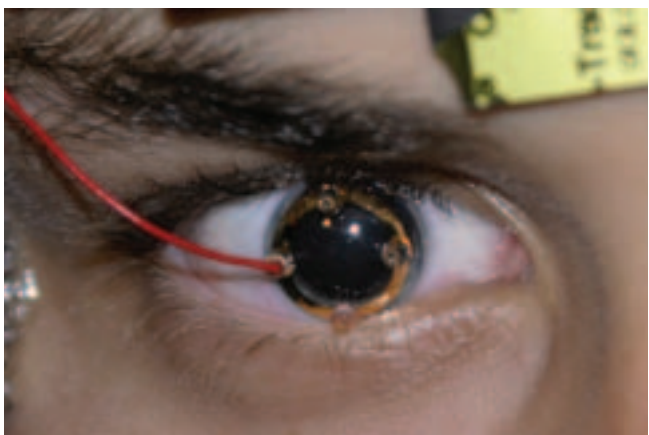
Tous les volontaires avaient une acuité visuelle de 10/10^e avec correction. Une amétropie sphérique supérieure à 3,00 D, un astigmatisme supérieur à 0,50 D, un nystagmus, une contre-indication à la pose de verres de contact et une hypersensibilité au tropicamide 1 % ou à l'oxybuprocaine étaient un critère d'exclusion. Tous les volontaires étaient de sexe masculin et âgés en moyenne de 33 ± 9 ans [18-52].

L'expérimentation a été réalisée sur l'œil droit uniquement. À l'arrivée dans le service, la pupille était dilatée avec une goutte de tropicamide 1 %. Des électrodes cutanées ont été positionnées au niveau du canthus temporal de l'œil testé et au centre du front, correspondant respectivement à l'électrode de référence et l'électrode neutre. Ces deux électrodes étaient mises en place au minimum 15 minutes avant la réalisation de la première mesure d'ERG multifocal et la peau était préalablement nettoyée avec une pâte abrasive puis avec de l'alcool. La cornée de l'œil droit était anesthésiée avec une goutte d'oxybuprocaine avant toute pose de l'électrode active. L'œil gauche était maintenu en position fermée à l'aide d'un ruban adhésif et d'un cache. La salle d'examen était maintenue en lumière ambiante.

L'ERG multifocal a été enregistré sur le Moniteur Ophthalmologique (Métrovision, France). La mire comprenait 61 hexagones de taille croissante avec l'excentricité et changeait selon une fréquence de 120 Hz. Les hexagones blancs avaient une luminance de 400 cd/m² et les noirs, une luminance inférieure à 4 cd/m². Le stimulateur était équipé d'un plastron générant un environnement lumineux de luminance constante et contrôlée (30 cd/m²). Les signaux étaient filtrés (bande passante de 0,1 à 75 Hz).

Quatre mesures ont été réalisées successivement à 10 minutes d'intervalle (t_0 , t_{10} , t_{20} et t_{30}), chaque mesure ayant une durée de 5 minutes. Pour les mesures 1 et 3 (M_1 à t_0 et M_3 à t_{20}), l'électrode active utilisée était une ERG-jet (fig. 1a). Pour les mesures 2 et 4 (M_2 à t_{10} et M_4 à t_{30}), l'électrode active utilisée était une Gold Foil (fig. 1b). Une correction optique était mise en place pour chaque mesure de mfERG afin d'aider les volontaires à fixer une cible située au centre de l'écran. Toutes les mesures ont été effectuées par le même expérimentateur.

Les résultats ont été recueillis par anneaux, donnant des réponses moyennées sur un découpage en cinq zones concentriques (< 2°, 2°-5°, 5°-10°, 10°-15° et > 15°) (fig. 2).



1a|1b

Figure 1 : (a) Électrode ERG-jet. (b) Électrode Gold Foil.

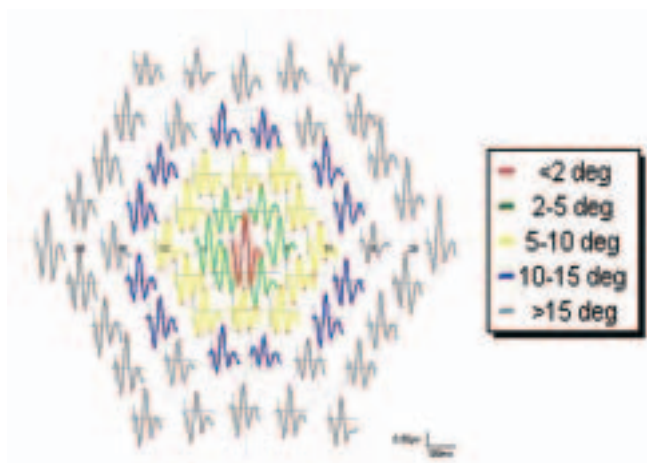


Figure 2 : Répartition des 61 réponses locales en cinq anneaux concentriques.

L'amplitude des premières ondes négative (N1) et positive (P1) a été étudiée. L'amplitude de l'onde N1 correspond à la distance entre la ligne de base et le creux de la première déflexion négative, l'amplitude de l'onde P1 correspond à la distance entre le creux de la première déflexion négative et le pic de la première déflexion positive. Les valeurs obtenues ont été exprimées en densité de réponse (nV/deg^2) de façon à prendre en

compte les différences de surface des éléments de stimulation.

La concordance de l'amplitude du signal mfERG entre les deux mesures successives réalisées sur l'œil droit a été étudiée selon l'analyse de Bland et Altman [4]. Le biais (noté D) représente la moyenne sur l'ensemble des sujets des différences entre deux mesures du signal mfERG. Les limites d'agrément (définies comme $D \pm 1,96 SD$, où SD est l'écart type des différences) expriment la précision de la mesure. La variation relative entre deux valeurs mesurées (v_1 et v_2) a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{Variation relative intra-individuelle} = (v_1 - v_2) / v_2.$$

La différence relative entre les amplitudes du signal mfERG recueillies avec les électrodes ERG-jet et Gold Foil a été calculée grâce aux mesures M_1 et M_2 selon la formule $(M_2 - M_1) / M_1$.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide de tests non paramétriques de Wilcoxon et le seuil de réjection de l'hypothèse nulle était fixé à 0,05.

RÉSULTATS

La carte des réponses locales et la carte en deux dimensions des amplitudes de l'onde P1 sont présentées à titre d'exemple pour les électrodes ERG-jet et Gold Foil chez un des 27 sujets (*fig. 3*).

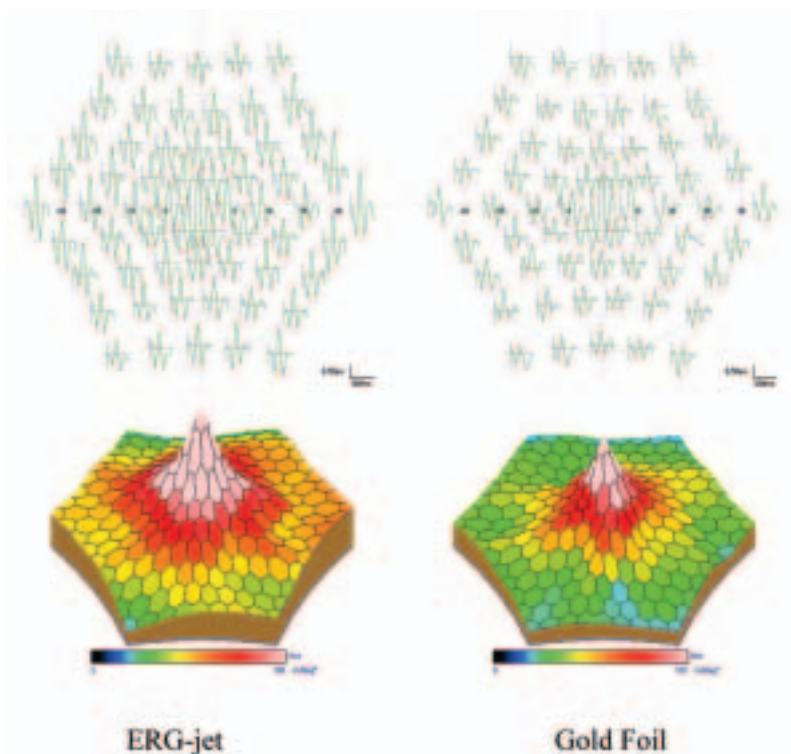


Figure 3 : Cartes des réponses locales et cartes en deux dimensions des amplitudes de l'onde P1 mesurée en nV/deg^2 pour les électrodes ERG-jet et Gold Foil chez un des 27 volontaires.

Le *tableau I* présente l'amplitude moyenne des ondes N1 et P1 pour chacun des cinq anneaux (< 2°, 2°-5°, 5°-10°, 10°-15° et > 15°) obtenus à partir des mesures M₁ et M₂ correspondant respectivement à l'utilisation des électrodes ERG-jet et Gold Foil.

Pour chaque anneau, l'amplitude recueillie en Gold Foil est plus faible que celle recueillie en ERG-jet (p < 0,01). Les différences relatives entre amplitude Gold Foil et ERG-jet ont été calculées pour l'onde N1 comme pour l'onde P1 sur les cinq anneaux concentriques (*tableau I*). En moyenne, l'amplitude des signaux recueillie en Gold Foil correspond à 72 ± 10 % [54-94] de celle recueillie en ERG-jet.

Les biais systématiques, écarts types, limites d'agréments et variations relatives intra-individuelles sont présentés dans le *tableau II* pour la reproductibilité intra-individuelle de l'amplitude des ondes N1 et P1 pour les mesures avec les deux types d'électrodes. La *figure 4* montre les nuages de points représentés selon le graphique de Bland et Altman pour l'amplitude de l'onde P1 sur l'anneau central (< 2°) chez les 27 volontaires.

La variation relative intra-individuelle moyenne entre deux mesures était, respectivement pour les ondes N1 et P1, de 9,1 % et 6,7 % pour l'électrode ERG-jet et de 18,2 % et 13,5 % pour l'électrode Gold Foil. Pour l'électrode ERG-jet, la variation relative intra-individuelle calculée sur l'anneau central (< 2°) était plus élevée que celles calculées sur les quatre autres anneaux pour les ondes N1 et P1 (*tableau II* ; p < 0,05).

littérature de comparaison entre ces deux types d'électrodes en ERG multifocal. Différentes électrodes ont été largement testées en ERG par flash [5-9], la comparaison se faisant généralement par rapport à une électrode de type Burian-Allen, celle-ci donnant les réponses les plus amples. Par extrapolation des résultats, Esakowitz et al. [5] ont observé pour l'onde b photopique que l'amplitude obtenue avec l'électrode Gold Foil correspond à 65 % de celle obtenue avec l'ERG-jet, cette valeur étant concordante avec nos propres résultats (72 %).

La différence relative entre les amplitudes recueillies à l'aide des électrodes Gold Foil et ERG-jet a été calculée

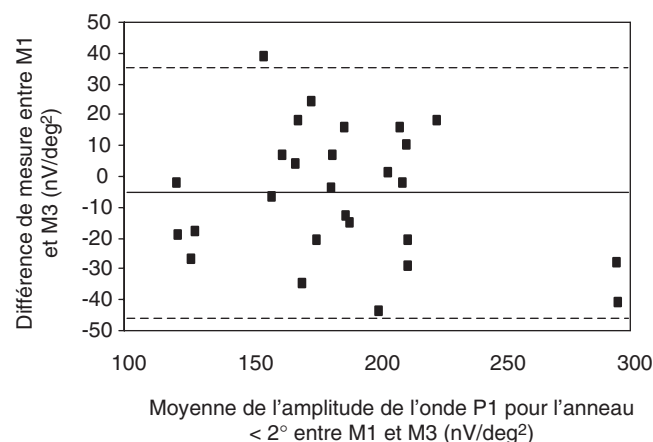


Figure 4 : Graphique de Bland et Altman pour la reproductibilité intra-individuelle de l'amplitude de l'onde P1 pour l'anneau central (< 2°), n = 27, électrode ERG-jet. Dans la représentation de Bland et Altman, chaque point représente un couple de mesures. On retrouve en abscisse la moyenne des deux mesures et en ordonnée la différence qui les sépare. La ligne centrale représente le biais, qui est la moyenne des différences algébriques de chacun des couples de mesure. Les deux lignes en pointillé sont les limites d'agrément à 95 %. Cela signifie que 95 % des couples de points sont compris entre ces deux lignes.

DISCUSSION

Comparaison des amplitudes entre électrodes Gold Foil et ERG-jet

Les signaux mfERG recueillis avec une électrode Gold Foil sont moins amples que ceux recueillis à l'aide d'une électrode ERG-jet. Nous n'avons pas retrouvé dans la

Tableau I

Amplitude moyenne mesurée en nV/deg² (± écart type) de l'onde N1 et de l'onde P1 pour les anneaux < 2°, 2°-5°, 5°-10°, 10°-15° et > 15° en ERG-jet (mesure M₁) et en Gold Foil (mesure M₂) et rapport en pourcentage de la valeur obtenue en Gold Foil par rapport à celle obtenue en ERG-jet, n = 27.

| | | ERG-jet (M ₁) | | Gold Foil (M ₂) | | Rapport entre M ₁ et M ₂ (%) | |
|----|---------|---------------------------|------------|-----------------------------|------------|--|------------|
| | | Moyenne | Écart type | Moyenne | Écart type | Moyenne | Écart type |
| N1 | < 2° | 110,7 | 27,4 | 83,9 | 20,1 | 78,1 | 17,9 |
| | 2°-5° | 59,2 | 12,5 | 42,0 | 7,4 | 73,2 | 16,8 |
| | 5°-10° | 38,0 | 7,9 | 27,7 | 5,7 | 74,0 | 15,0 |
| | 10°-15° | 26,8 | 5,6 | 18,9 | 3,8 | 71,6 | 12,4 |
| | > 15° | 21,3 | 4,0 | 15,1 | 2,5 | 71,8 | 10,6 |
| P1 | < 2° | 189,6 | 46,4 | 140,0 | 27,9 | 75,7 | 14,2 |
| | 2°-5° | 112,1 | 24,5 | 74,8 | 12,7 | 68,2 | 11,0 |
| | 5°-10° | 74,9 | 18,1 | 51,0 | 7,8 | 70,2 | 12,0 |
| | 10°-15° | 55,3 | 12,5 | 36,4 | 6,7 | 67,1 | 10,8 |
| | > 15° | 43,7 | 9,4 | 29,5 | 5,4 | 68,4 | 9,2 |

Tableau II

Biais, écart type, limites d'agrément et variations relatives pour le calcul de la reproductibilité.

| | | Biais (nV/deg ²) | Écart type | Limites d'agrément | | Variations relatives (%) |
|--|---------|---------------------------------|------------|--------------------|------------|-----------------------------|
| | | | | Inférieure | Supérieure | |
| Reproductibilité de la mesure en ERG-jet (M ₁ vs M ₃) | | | | | | |
| N1 | < 2° | 3,1 | 15,1 | - 26,4 | 32,6 | 12,6 ± 6,6 |
| | 2°-5° | 0,8 | 7,1 | - 13,1 | 14,7 | 10,2 ± 9,6 |
| | 5°-10° | - 0,6 | 3,9 | - 8,1 | 7,0 | 7,2 ± 5,5 |
| | 10°-15° | 0,3 | 3,6 | - 6,7 | 7,3 | 7,9 ± 7,6 |
| | > 15° | 0,4 | 2,1 | - 3,8 | 4,6 | 7,6 ± 6,3 |
| P1 | < 2° | - 6,1 | 21,2 | - 47,7 | 35,4 | 9,6 ± 6,8 |
| | 2°-5° | - 2,5 | 8,5 | - 19,1 | 14,0 | 6,2 ± 4,6 |
| | 5°-10° | - 0,7 | 6,1 | - 12,6 | 11,2 | 5,7 ± 4,4 |
| | 10°-15° | 0,5 | 4,9 | - 9,1 | 10,0 | 6,3 ± 5,8 |
| | > 15° | 0,0 | 3,6 | - 7,1 | 7,1 | 5,8 ± 6,0 |
| Reproductibilité de la mesure en Gold Foil (M ₂ vs M ₄) | | | | | | |
| N1 | < 2° | - 2,5 | 19,9 | - 41,5 | 36,5 | 20,5 ± 16,6 |
| | 2°-5° | - 1,9 | 9,7 | - 20,9 | 17,1 | 20,0 ± 16,2 |
| | 5°-10° | 1,2 | 6,3 | - 11,1 | 13,6 | 19,6 ± 15,9 |
| | 10°-15° | - 0,5 | 3,8 | - 8,0 | 7,0 | 18,6 ± 9,5 |
| | > 15° | 0,1 | 2,4 | - 4,7 | 4,8 | 12,2 ± 9,6 |
| P1 | < 2° | - 3,4 | 33,0 | - 68,2 | 61,3 | 16,4 ± 14,2 |
| | 2°-5° | 2,7 | 11,2 | - 19,3 | 24,7 | 13,1 ± 8,3 |
| | 5°-10° | - 1,0 | 8,0 | - 16,6 | 14,6 | 13,7 ± 9,5 |
| | 10°-15° | 1,2 | 5,2 | - 9,1 | 11,6 | 12,2 ± 9,7 |
| | > 15° | 0,5 | 4,5 | - 8,2 | 9,2 | 12,0 ± 8,6 |

pour chaque volontaire. La valeur minimum était de 54 % et la valeur maximum de 94 %. Ceci pourrait être lié à la position de l'électrode ou à une disparité inter-individuelle.

Reproductibilité de la mesure

La reproductibilité de la mesure a été étudiée pour chacune des électrodes (biais, limites de concordance, variations relatives intra-individuelles).

L'analyse de Bland et Altman permet de considérer la différence entre deux mesures d'ERG multifocal pour chacun des 27 volontaires et d'en montrer la moyenne (biais). À titre d'exemple, nous avons tracé un graphique de Bland et Altman (*fig. 4*) pour l'amplitude de l'onde P1 pour l'anneau central (< 2°) recueillie avec l'électrode ERG-jet. Chaque point correspond à la différence de la mesure en fonction de l'amplitude moyenne pour un des volontaires.

Les limites d'agrément ont un intérêt particulier puisqu'elles indiquent que dans 95 % des cas la différence entre les deux mesures ne dépasse pas ces valeurs. Elles indiquent donc la valeur maximale de la variation liée à la mesure. Autrement dit, dans un contrôle mfERG réalisé en pratique clinique, si l'on observe une variation de l'amplitude par rapport à l'examen précédent, cette différence doit être considérée comme anormale si elle dépasse les limites d'agrément.

Chez les 27 volontaires, l'amplitude de l'onde P1 recueillie à l'aide d'une électrode ERG-jet est de 190 nV/deg² pour le pic central (< 2°) (*tableau I*) ; les limites d'agrément sont de - 48 nV/deg² pour la limite inférieure et de + 35 nV/deg² pour la limite supérieure.

Plus on s'éloigne de la fovéa, plus la densité des photorécepteurs diminue et plus les signaux sont de faible amplitude. Le biais et les limites d'agrément diminuent du centre vers la périphérie, en rapport avec cette diminution de l'amplitude du signal. En conséquence, une variation de 10 nV/deg² observée entre deux mesures n'aura pas la même signification clinique selon qu'elle concerne le pic central ou un anneau périphérique.

L'utilisation croissante de l'ERG multifocal a suscité la publication de nombreuses études de la reproductibilité utilisant les divers systèmes permettant l'acquisition du mfERG (VERIS system, RetiSCAN system) [10-15]. Mohidin *et al.* [14] ont testé la reproductibilité du mfERG par 103 hexagones avec quatre types d'électrodes (ERG-jet, Gold Foil, DTL et c-glide) chez 12 sujets âgés de 18 à 40 ans. Ils ont observé, au niveau de la première onde positive, une variation relative intra-individuelle de 13,6 % pour l'électrode Gold Foil et de 11,2 % pour l'électrode ERG-jet. Nous trouvons une variation intra-individuelle similaire pour l'électrode Gold Foil (13,5 %), mais plus petite pour l'électrode ERG-jet (6,7 %).

La position de l'électrode, quel que soit son type, joue un rôle dans la reproductibilité de la mesure. En effet, l'électrode active est retirée à la fin de chaque enregistrement et sa position est inévitablement modifiée entre deux mesures. Si l'électrode ERG-jet est relativement simple à positionner sur la cornée, il n'en est pas de même pour l'électrode Gold Foil et la reproductibilité de l'examen avec cette électrode sera corrélée à l'expérience du praticien à la poser.

La reproductibilité de la mesure est meilleure pour l'électrode ERG-jet que pour l'électrode Gold Foil : les variations relatives intra-individuelles étaient plus élevées avec l'électrode Gold Foil qu'avec l'ERG-jet (ondes N1 et P1) ; pour chaque anneau étudié, les limites de concordance inférieures et supérieures étaient plus importantes en Gold Foil qu'en ERG-jet.

Ceci pouvait être attendu car, avec une électrode Gold Foil, les clignements sont possibles et induisent des perturbations du signal recueilli. Nous n'avons pas souhaité dans cette étude interrompre l'enregistrement du mfERG pour permettre au sujet de cligner. Ceci devrait pourtant permettre de réduire le nombre d'artéfacts et d'améliorer la reproductibilité de la mesure.

Pour l'électrode ERG-jet, la variation relative intra-individuelle est significativement plus élevée au niveau du pic central qu'au niveau des anneaux périphériques. Ceci peut être expliqué par la topographie de l'ERG multifocal. Celle-ci propose une répartition en cinq anneaux concentriques réalisée à partir des 61 réponses locales. L'anneau central, représentant les 2 degrés centraux, est constitué par une seule réponse locale : la réponse centrale. Pour les quatre anneaux concentriques, chaque valeur correspond à la moyenne des réponses locales concernées.

CONCLUSION

L'ERG multifocal est un examen qui apporte des informations essentielles sur le fonctionnement du pôle postérieur de la rétine. Son intérêt est de diagnostiquer précocement des dysfonctionnements touchant les cellules de la rétine centrale. Or, face à une diminution de l'amplitude du signal, il n'est pas toujours facile d'appréhender la limite entre reproductibilité et contexte pathologique. Cette étude a permis de quantifier les possibles variations liées à la mesure.

L'ERG-jet reste l'électrode la mieux adaptée pour la réalisation d'un ERG multifocal. En cas de contre-

indication absolue ou d'intolérance à cette lentille, la Gold Foil peut être une alternative. Cependant, malgré des signaux d'amplitude plus faible qu'avec l'ERG-jet, la variation entre deux examens peut atteindre des valeurs aussi importantes, si ce n'est plus, qu'avec cette électrode.

RÉFÉRENCES

- Hood DC. Assessing retinal function with the multifocal technique. *Prog Retin Eye Res*, 2000;19:607-46.
- Lai TY, Chan WM, Li H, Lai RY, Lam DS. Multifocal electroretinographic changes in patients receiving hydroxychloroquine therapy. *Am J Ophthalmol*, 2005;140:794-807.
- Job HM, Keating D, Evans AL, Parks S. Three-dimensional electromagnetic model of the human eye: advances towards the optimisation of electroretinographic signal detection. *Med Biol Eng Comput*, 1999;37:710-9.
- Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1986; 8476:307-10.
- Esakowitz L, Kriss A, Shawkat F. A comparison of flash electroretinograms recorded from Burian Allen, JET, C-glide, Gold Foil, DTL and skin electrodes. *Eye*, 1993;7:169-71.
- Bradshaw K, Hansen R, Fulton A. Comparison of ERGs recorded with skin and corneal-contact electrodes in normal children and adults. *Doc Ophthalmol*, 2004;109:43-55.
- Gjotterberg M. Electrodes for electroretinography. A comparison of four different types. *Arch Ophthalmol*, 1986;104:569-70.
- Hennessy MP, Vaegan. Amplitude scaling relationships of Burian Allen, Gold Foil and Dawson, Trick and Litzkow electrodes. *Doc Ophthalmol*, 1995;89:235-48.
- Kriss A. Skin ERGs : their effectiveness in paediatric visual assessment, confounding factors, and comparison with ERGs recorded using various types of corneal electrode. *Int J Psychophysiol*, 1994; 16:137-46.
- Bultmann S, Rohrschneider K. Reproducibility of multifocal ERG using the scanning laser ophthalmoscope. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, 2002;240:841-5.
- Heinemann-Vernaleken B, Palmowski A, Allgayer R. The effect of time of day and repeat reliability on the fast flicker multifocal ERG. *Doc Ophthalmol*, 2000;101:247-55.
- Aoyagi K, Kimura Y, Isono H, Akiyama H, Sugawara T. Reproducibility and wave analysis of multifocal electroretinography. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*, 1998;102:340-7.
- Meigen T, Friedrich A. The reproducibility of multifocal ERG recordings. *Ophthalmologie*, 2002;99:713-8.
- Mohidin N, Yap MK, Jacobs RJ. The repeatability and variability of the multifocal electroretinogram for four different electrodes. *Ophthalmic Physiol Opt*, 1997;17:530-5.
- Zhang W, Zhao K. Multifocal electroretinography in central serous chorio-retinopathy and assessment of the reproducibility of the multifocal electroretinography. *Doc Ophthalmol*, 2003;106:209-13.