

L'ÉLECTRORÉTINOGRAMME DAMIER, GLOBAL ET MULTIFOCAL

O ZAMBROWSKI, I AUDDO

1. INTRODUCTION

L'électrorétinogramme (ERG) est l'examen de référence permettant de vérifier l'intégrité de la fonction rétinienne et de la macula. Plusieurs examens différents existent et sont complémentaires. L'ERG damier est probablement le plus intéressant pour le diagnostic des neuropathies optiques car il permet d'enregistrer la fonction des cellules ganglionnaires. L'ERG global et l'ERG multifocal permettent dans certains cas de rechercher un diagnostic différentiel d'une neuropathie optique, en particulier une pathologie rétinienne.

Afin d'homogénéiser les réponses, une société internationale d'électrophysiologie visuelle, *International Society for Clinical Electrophysiology of Vision* (ISCEV) (www.iscev.org/), s'accorde très régulièrement sur un certain nombre de règles à suivre concernant les conditions d'enregistrement de ces examens.

2. DÉFINITIONS

2.1. L'ERG damier (ou pattern ERG, ou ERG pattern, ou PERG)

Cette technique enregistre la réponse de la rétine centrale à un stimulus structuré « iso-lumineux » (renversement de damier). Elle permet d'évaluer la fonction maculaire avec des réponses essentiellement générées au niveau des cellules ganglionnaires issues de la macula pour différencier une neuropathie optique d'une maculopathie [1]. Réalisé sans dilatation pupillaire, il est un complément logique en cas d'anomalie des potentiels évoqués visuels par damiers pour affiner le diagnostic différentiel. La qualité des réponses est moins dépendante des difficultés de fixation que l'ERG multifocal mais le PERG donne une réponse globale et non une cartographie de l'électrogenèse maculaire contrairement à ce dernier.

2.2. L'électrorétinogramme (ERG) global (ou plein champ, ou ganzfeld)

Son principe est d'enregistrer la réponse électrique globale de la rétine, en réponse à une stimulation lumineuse calibrée [2]. Il teste essentiellement la fonction de la rétine périphérique avec une contribution maculaire négligeable, il n'est donc pas un bon test de fonction maculaire. En fonction de l'ambiance lumineuse et de l'intensité de la stimulation, la réponse obtenue est celle d'un groupe de cellules

(ou système) bien déterminé: il convient ainsi de distinguer les réponses enregistrées dans les conditions d'adaptation de la rétine à l'obscurité ou conditions scotopiques, (réponse mixte, dominé par les bâtonnets et cellules associées) et des conditions d'adaptation de la rétine à la lumière (réponses des cônes et cellules associés). Elle permet de localiser la dysfonction rétinienne à la rétine interne ou externe. Pour que les réponses d'un ERG global soient altérées, l'atteinte doit être supérieure à 20 % de la surface globale de la rétine. L'ERG global est réalisable à tout âge et ne nécessite qu'exceptionnellement une sédation.

2.3. L'ERG multifocal (ERG mf)

Développé en 1991 par Sutter et Tran [3][4], il répond à une demande des cliniciens et des chercheurs de pouvoir mettre en évidence des lésions plus localisées. Cet examen permet un enregistrement simultané d'un ERG focal à de multiples locations de la macula, stimulée de façon pseudo-aléatoire par des hexagones lumineux. Grâce à un traitement mathématique, il est possible de calculer la réponse générée par chacun des hexagones stimulés. Ainsi, la réponse a une valeur topographique et permet de mettre en évidence un dysfonctionnement localisé des cônes de la région maculaire.

3. MÉTHODE ET CONDUITE D'EXAMEN

3.1. ERG damier

Le PERG le plus souvent enregistré en routine diagnostique est le PERG transitoire: un écran génère une stimulation structurée en iso-luminance (luminance constante) avec un renversement de damier noir et blanc (damier blanc > 80 cd/m² avec un contraste > 80 % et une alternance d'environ 2 Hz) à 30 cm du patient. Il ne nécessite pas de dilatation pupillaire et peut être réalisé en mono (en cas de strabisme) ou binoculaire. Le port d'une correction optique de près est nécessaire. Les électrodes utilisées peuvent être de plusieurs types: cornéennes, conjonctivales ou cutanées, (Fig. 1) mais le choix de cette lentille ne doit pas empêcher la formation d'une image rétinienne nette.

3.2. ERG global

La stimulation se fait par une coupole qui est une portion de sphère (distance œil stimulus: 30 cm), ou à l'aide d'un dispositif portable (distance variable), après dilatation pupillaire, les deux yeux

en même temps mais sans correction optique. Les électrodes (Fig. 1) utilisées peuvent être de plusieurs types, sclérales, cornéennes, conjonctivales, cutanées. Il faut toujours adapter la technique d'examen en fonction du patient, par exemple chez le bébé, l'enfant ou la personne handicapée.

Selon les recommandations de l'ISCEV, les stimulations sont des flashes achromatiques d'intensité variable. Le patient est tout d'abord mis dans le noir pendant 20 minutes. La première partie est enregistrée dans ces conditions d'adaptation à l'obscurité (Dark Adapted, DA ou scotopique) ce qui permet d'enregistrer les réponses issues en majorité des bâtonnets soit en réponse à des flashes de faible intensité (0.01 cd.s/m²: DA 0.01) ou de forte intensité (3 cd.s/m²: DA 3.0) et même de très forte intensité (10 cd.s/m²: DA10.0). Une modification de la bande passante de recueil du signal (75 à 300 Hz contre 0,3 à 300 Hz pour le reste de l'examen) permet d'enregistrer les potentiels oscillatoires (DA 3.0 OPS). Après 10 minutes d'adaptation à la lumière (conditions d'adaptation à la lumière – Light Adapted, LA ou photopiques), les réponses issues des cônes sont obtenues avec des stimulations de forte intensité (3,0 cd.s/m²) à fréquence basse (1/s: LA 3.0) puis élevée (30/s: soit 30 Hz, LA 3.0 flicker) (Fig. 2). D'autres stimulations peuvent être réalisées en complément pour affiner le diagnostic de certaines pathologies rétinienne (exemple: stimulations de courte longueur d'onde ou stimulation longue durée).

3.3. ERG multifocal

Après dilatation pupillaire, avec une correction optique de près, le patient est adapté en ambiance photopique. Les électrodes utilisées peuvent être de plusieurs types (sclérale, cornéennes, conjonctivales) mais doivent laisser l'axe optique libre pour une bonne projection du stimulus sur l'aire maculaire. Le patient est à 30 cm du stimulus (Fig. 2), il doit fixer le centre des hexagones, et cligner le moins possible pendant tout le temps de l'examen (5 minutes par œil). La stimulation est constituée de 61, 103 ou 241 hexagones de tailles variables en fonction du programme choisi. Ils s'étendent sur une zone de 40° en vertical et 50° en horizontal. Les hexagones sont successivement blancs (luminance maximale à 200 cd/m²) ou noirs (luminance minimale à 2 cd/m²) avec un contraste de 98 %. La luminance moyenne du stimulus est de 70 à 80 cd/m², et la fréquence du renversement des hexagones est de 75 Hz. L'alternance se fait de façon pseudo-rando-



Figure 1: Différentes électrodes cornéennes.



Figure 2: Installation du patient pour un ERG mf à 30 cm du stimulus, après dilatation pupillaire et correction optique de près. (photos S Majzoub, Tours)

misée, aléatoire. Le signal recueilli est amplifié 100 000 fois puis recueilli avec une bande passante de 10 à 300 Hz.

4. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

4.1. Résultats normaux

A l'ERG damier, l'analyse se focalise sur les amplitudes de l'onde P50, dont l'origine est générée pour 70 % au niveau des cellules ganglionnaires et pour 30 % d'une origine plus proximale, possiblement les photorécepteurs maculaires, et de l'onde N95, générée au niveau des cellules ganglionnaires en provenance de la macula.

A l'ERG global, dans les conditions scotopiques, il est possible d'enregistrer une onde a, première déflexion négative, absente pour les flashes de faible intensité et qui reflète l'hyperpolarisation des photorécepteurs, dominés par les bâtonnets, en réponses au stimulus, puis d'une onde b, première déflexion positive, reflétant la dépolarisation des cellules bipolaires ON. Dans les conditions photopiques, en réponse au flash simple (LA 3.0) l'onde a reflète l'hyperpolarisation des cônes et celles des cellules bipolaires OFF alors que l'onde b reflète la dépolarisation des cellules bipolaires ON issues des cônes. Enfin, la réponse au flicker est sinusoïdale et essentiellement générée au niveau des cellules bipolaires.

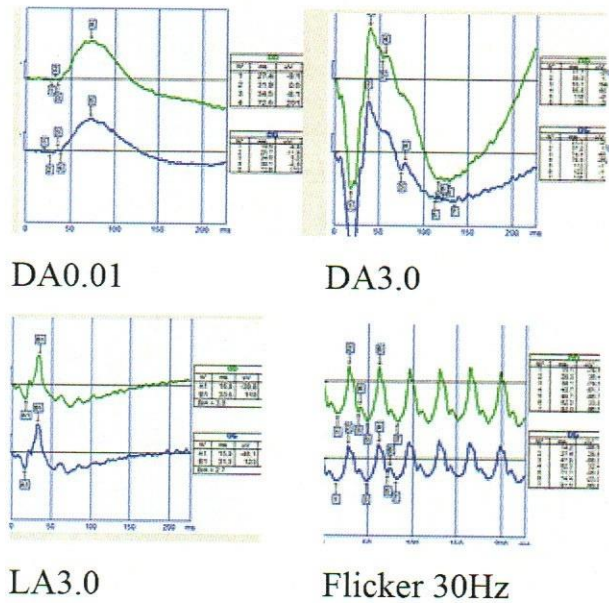


Figure 3 : ERG global normal enregistré selon la norme internationale (ISCEV) avec des électrodes cornéennes : les réponses scotopiques (DA 0.01 et DA 3.0) et photopiques (LA 3.0, Flicker 30 Hz) sont présentes. (photo S. Majzoub, Tours)

L'ERG multifocal analyse les réponses issues des cônes maculaires, et particulièrement l'onde p1. Elle se caractérise par sa morphologie (essentiel), son amplitude, et son temps de culmination, pour chaque zone stimulée. Dans une réponse normale, il existe un pic fovéolaire, en rapport avec la forte densité des cônes à ce niveau, et aucun déficit focal à l'analyse des anneaux.

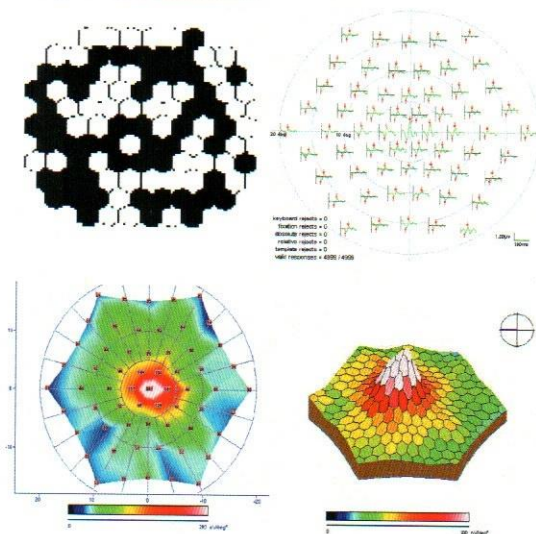


Figure 4 : ERG mf normal enregistré avec des électrodes cornéennes.

Au total, en cas de neuropathie optique, les ERG global (**Fig. 3**) et multifocal (**Fig. 4**) sont normaux ; en cas de neuropathie optique, par contre l'ERG damier (**Fig. 5**) est modifié surtout au niveau de la N95 de façon variable.

Devant une baisse d'acuité visuelle avec un fond d'œil normal ou une pâleur papillaire, si la tomographie par cohérence optique et le champ visuel n'apportent pas d'orientation diagnostique, la réalisation d'un ERG global et multifocal ou d'un ERG pattern permet de rechercher une rétinopathie ou une maculopathie respectivement.

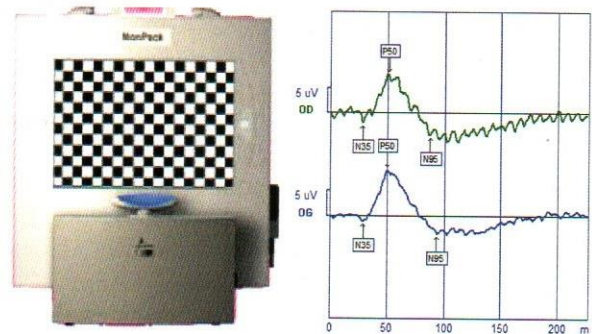


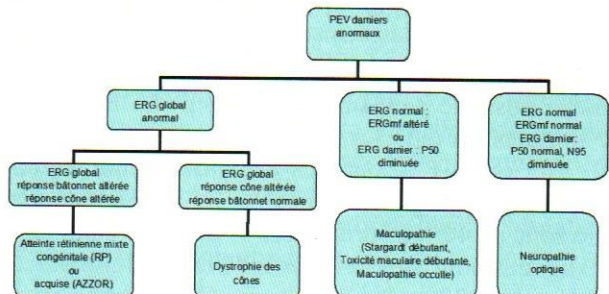
Figure 5 : ERG damier normal enregistré en binoculaire avec des électrodes cutanées.

4.2. Résultats pathologiques

Devant un tableau de neuropathie optique atypique, deux stratégies diagnostiques alternatives peuvent être proposées [5] :

- 1/ PEV flash/ damiers + ERG global + ERG mf
- 2/ PEV flash/damiers + PERG

Si l'un ou l'autre de ces bilans s'avère être strictement normal, il conviendra d'évoquer une cause anorganique, par contre en cas de réponses anormales du PEV plusieurs possibilités sont à envisager (cf. tableau 1)



Par contre, en cas de modification de la réponse de l'ERG multifocal ou de l'onde P50 à l'ERG par damier, il faudra évoquer une maculopathie plutôt qu'une neuropathie optique. En cas d'atteinte sélec-

tive des cônes à l'ERG global, on s'orientera plutôt vers une dystrophie des cônes.

4.3. Pièges

Lors de l'analyse des résultats du bilan fonctionnel rétinien, avant de diagnostiquer à tort une atteinte rétinienne ou maculaire, il faut s'assurer de :

- l'absence de trouble des milieux,
- l'absence d'anisométrie majeure (pouvant modifier les amplitudes des réponses),
- la bonne réalisation des examens avec une bonne fixation du patient (PEV, ERG damier), une correction optique de près adaptée (PEV, ERG damier, ERG multifocal).

4.4. Intérêt et limites

L'ERG pattern permet d'étudier les réponses issues des cônes maculaires, véhiculées par les cellules ganglionnaires. Il permet de différencier une atteinte d'origine rétinienne maculaire et une atteinte des cellules ganglionnaires. Le signal est de faible amplitude et nécessite comme pour l'ERG multifocal la participation du patient avec une bonne fixation.

L'ERG global est intéressant, il permet de chercher l'atteinte globale du fonctionnement des photorécepteurs pour le diagnostic différentiel devant une pâleur papillaire (dystrophie des cônes, rétinite pigmentaire débutante). La réponse étant proportionnelle au nombre de photorécepteurs fonctionnels, un ERG global normal ne permet pas d'éliminer une maculopathie. Néanmoins, cet examen nécessite un minimum de coopération ce qui limite parfois sa réalisation chez l'enfant très opposant entre 18 mois et 3 ans. Les électrodes DTL peuvent parfois aider dans cette tranche d'âge, certaines équipes choisissent alors de réaliser l'examen sous sédation modérée ou anesthésie générale.

L'ERG multifocal permet l'étude de la fonction des cônes de la macula. Toute altération de la réponse doit faire pratiquer un ERG global pour éliminer une atteinte générale des photorécepteurs. Dans le diagnostic différentiel d'une neuropathie optique, son intérêt est d'éliminer une atteinte maculaire passée inaperçue au fond d'œil ou à l'imagerie rétinienne en début d'évolution. L'examen est interprétable si la fixation est bonne, ce qui limite le recours à cet examen en cas d'atteinte étendue de la macula ou de sécheresse oculaire majeure. Il est difficile à réaliser chez l'enfant de moins de 8 ans en raison de la nécessité de fixation.

REFERENCES

1. **Bach M, Brigell MG, Hawlina M, et al.** ISCEV standard for clinical pattern electroretinography (PERG): 2012 update. *Doc Ophthalmol* 2012;**126**:1-7. doi:10.1007/s10633-012-9353-y
2. **McCulloch DL, Marmor MF, Brigell MG, et al.** ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2015 update). *Doc Ophthalmol* 2014;**130**:1-12. doi:10.1007/s10633-014-9473-7
3. **Hood DC, Bach M, Brigell M, et al.** ISCEV standard for clinical multifocal electroretinography (mfERG) (2011 edition). *Doc Ophthalmol* 2011;**124**:1-13. doi:10.1007/s10633-011-9296-8
4. **Sutter EE, Tran D.** The field topography of ERG components in man—I. The photopic luminance response. *Vision Res* 1992;**32**:433-46.
5. **Zambrowski O, Ingster Moati I, Robert M :** Apport de l'électrophysiologie visuelle : le point de vue de l'ophtalmologiste, *Réalités ophtalmologiques*, octobre 2013