

ACQUISITION, TRAITEMENT ET ANALYSE D'IMAGES DE L'OEIL POUR L'ETUDE DU REFLEXE PUPILLAIRE.

J.P.HUGEUX*, J.L.BARISEAU*, J.R.CHARLIER , J.C.HACHE , Y.MOSCHETTO .

* Centre de Technologie Biomédicale INSERM, LILLE.

** Service d'Explorations Fonctionnelles de la Vision, CHU LILLE.

Résumé.

Pour permettre une évaluation précise, reproductible et quantitative des réponses pupillaires à des stimuli lumineux, nous avons développé un système d'examen du réflexe pupillaire destiné aux applications de diagnostic en clinique neuroophthalmologique. Le comportement dynamique de la pupille est caractérisé par 6 paramètres : temps de latence avant contraction et dilatation, amplitude au repos et amplitude du réflexe, vitesses de contraction et de dilatation. Un programme de quantification automatique permet la normalisation des résultats et la comparaison entre réponse saine et réponse pathologique. Une évaluation clinique sur plus de 100 sujets a démontré l'intérêt de ce moyen d'investigation complémentaire pour le diagnostic clinique d'affections neuroophthalmologiques.

Mots clés : REFLEXE PUPILLAIRE, INSTRUMENTATION, METHODE.

PUPILLARY LIGHT REFLEX EVALUATION FROM VIDEO IMAGES OF THE EYE.

Abstract.

A new instrument providing a precise, reproducible and quantitative evaluation of the pupillary light reflex, is described.

The following parameters are chosen to reflect the dynamic behavior of the pupil : pupil area and latency time prior to constriction, constriction velocity and amplitude, latency prior to dilatation and dilatation velocity. Such a quantification provides a mean of comparison between healthy and pathologic responses.

Clinical evaluation was performed over more than 100 subjects and demonstrated the value of this instrument for the clinical investigation of neuroophthalmic diseases.

Keywords : PUPILLARY LIGHT REFLEX, INSTRUMENTATION, METHOD.

FINANCEMENT

Ce travail a été financé par le pôle régional de GBM NordPas de Calais et la Fondation Française pour la Recherche Médicale.

TIRE A PART : J.P Huguex, CTB INSERM,
13 à 17 Rue Camille Guérin,
59000 LILLE.

ACQUISITION, TRAITEMENT ET ANALYSE D'IMAGES DE L'OEIL POUR L'ETUDE DU REFLEXE PUPILLAIRE.

J.P.HUGEUX*, J.L.BARISEAU*, J.R.CHARLIER*, J.C.HACHE**, Y.MOSCHETTO*.

* Centre de Technologie Biomédicale INSERM, LILLE.

** Service d'Explorations Fonctionnelles de la Vision, CHU LILLE.

INTRODUCTION

Le clinicien dispose actuellement de nombreuses techniques pour évaluer la perception lumineuse. Les activités électriques (PEV, ERG, EOMG), l'étude du champ visuel et la réponse pupillaire sont en effet couramment utilisées en clinique neuro-ophtalmologique. Ces méthodes d'investigation mettent en jeu différents mécanismes et par conséquent, fournissent des informations complémentaires utiles pour l'établissement d'un diagnostic définitif (4).

La pupille entre déjà pour une grande part dans l'évaluation des pathologies des fonctions visuelles (7, 12). L'étude du réflexe pupillaire présente de plus, plusieurs aspects positifs :

- contrairement à l'évaluation subjective du champ visuel, c'est une méthode indépendante de la coopération, de la compréhension et de la fatigue du patient. En réduisant au maximum la participation volontaire de ce dernier, la réponse pupillaire constitue un témoin physiologique objectif et peut être utilisée avec des patients peu coopérants (jeunes enfants par exemple).
- la réponse pupillaire fait intervenir des voies visuelles et nerveuses différentes et est aussi sensible au centre du champ visuel (fovée) qu'à la périphérie.

Il est indéniable, et de nombreuses publications en témoignent (1, 10, 11, 13) qu'une analyse quantitative précise de la réponse pupillaire procure un apport précieux pour caractériser les différentes atteintes des fonctions visuelles. Il est donc intéressant d'insérer dans un dispositif d'examen automatique du champ visuel prévu pour une utilisation clinique (3), un système de détection et de calcul de la surface pupillaire et de développer des algorithmes permettant la quantification du réflexe.

SYSTEME D'EXAMEN.

Le dispositif d'examen automatique du champ visuel ayant déjà été décrit par ailleurs (2, 3, 6, 8), nous ne rappelons ici que les éléments intervenant dans l'examen de la réponse pupillaire.

Principe : le patient placé face à un écran hémisphérique d'un mètre de diamètre, est soumis à des stimuli lumineux en différents points de son champ visuel (5). Le système de mesure comprend une caméra infrarouge située derrière une ouverture de l'écran de projection en coïncidence avec la tâche aveugle du patient (Cf. Figure 1), formant une image de l'oeil de ce dernier. Ce choix de la position de la caméra ainsi que celui d'un éclairage proche infrarouge, éliminent les problèmes d'interférences entre le monitoring de l'oeil et l'examen proprement dit. Enfin, la visualisation continue de la pupille sur un moniteur vidéo permet un contrôle permanent de l'examen par l'opérateur.

Détection de la pupille : la frontière entre pupille et iris qui habituellement est peu discernable, est mise en évidence grâce à l'effet de "la pupille brillante" obtenu par le montage optique de la figure 2 : le faisceau d'éclairage est orienté de telle façon que le faisceau réfléchi par l'oeil lui soit superposé. Ainsi, les rayons incidents sont réfléchis par la rétine et éclairent la pupille par l'arrière. L'image résultante apparaissant sur l'écran de contrôle montre donc un disque clair représentant la pupille sur un fond sombre.

Mesure de la surface pupillaire : étant donnée la bande **passante** du signal vidéo issu de la caméra (environ 5 MHz), la saisie et le traitement des données doivent être très rapides. Un compromis entre coût et possibilité d'évolution du système a conduit au choix suivant : un prétraitement par logique câblée est associé à un traitement final par microprocesseur de technologie CMOS (temps de cycle : 1~ μ s). Le prétraitement par logique câblée détermine les coordonnées du début et de la fin de la pupille brillante ainsi que celles de la réflexion cornéenne au cours de chaque ligne du balayage de l'image (le schéma de principe est donné en figure 3). Un microprocesseur vient alors lire ces données et calcule la surface pupillaire.

Le principal avantage de cette méthode de mesure est sa sensibilité, résultat d'une mesure de surface et non pas d'une mesure de diamètre comme dans la plupart des dispositifs utilisés habituellement.

Un autre avantage est l'obtention d'une mesure d'ouverture pupillaire directement liée à la quantité de lumière arrivant sur la rétine, alors que la mesure de diamètre fournit une valeur erronée dans les cas relativement fréquents de ptosis (obstruction partielle de la pupille par les paupières).

PROTOCOLE D'EXAMEN

L'examen est contrôlé par un ensemble de processeurs et consiste en enregistrements de réponses pupillaires à des stimuli lumineux en cinq points déterminés du champ visuel.

Pour l'étude du réflexe pupillaire les paramètres de stimulation, variables au demeurant, sont les suivants :

- éclairage ambiant de la coupole : 0.1 asb ;
- taille du spot de stimulation : 2 degrés d'angle visuel ;
- luminance du spot : 300 asb ;
- temps de présentation : 200 ms ;
- fréquence de stimulation : 0,7 Hz.

Le protocole d'examen est entièrement automatique. L'opérateur n'intervient que pour contrôler son déroulement et valider les réponses obtenues. Il dispose pour cela de trois écrans de contrôle (Cf. synoptique de l'appareil) :

* un premier écran assurant le monitoring et par conséquent le contrôle de la position de la pupille du patient dans le champ de la caméra (2x2 cm).

* un second écran visualisant les réponses élémentaires permet le contrôle visuel des fluctuations et artefacts (clignements...) et par conséquent la validation des mesures.

* un troisième écran servant de moyen de communication avec le calculateur : l'opérateur y trouve toutes les données concernant l'examen (caractéristiques des stimuli, messages générés par le programme superviseur).

Du fait de la grande variabilité des réponses individuelles, l'analyse ne peut être réalisée que sur plusieurs réponses. Des séquences de sept stimulations sont déclenchées et les réponses pupillaires correspondantes recueillies et visualisées. L'opérateur doit alors intervenir soit pour valider et enregistrer les réponses recueillies, soit pour recommencer la séquence lorsque des artefacts tels que clignements ou mouvements des yeux se sont produits.

Le protocole ainsi conçu procure donc des conditions d'examen standardisées et reproductibles.

TRAITEMENTS ET ANALYSE

1- Traitement (Cf figure 4)

Le signal caractérisant les variations de la surface pupillaire à la suite des stimulations lumineuses est, comme de nombreux signaux physiologiques, sujet à de nombreuses fluctuations propres et des artefacts d'origines diverses (clignements, mouvements importants, bruit électronique ...) dont le niveau est assez important pour affecter la représentativité des réponses individuelles.

Pour s'affranchir des fluctuations de la réponse individuelle, deux traitements précèdent le programme d'analyse. Tout d'abord, un lissage est réalisé à l'aide d'un filtre polynomial suivant la méthode des moindres carrés. Ensuite, vient le moyennage des sept réponses enregistrées pour chaque position choisie du champ visuel.

Ainsi, pour l'analyse proprement dite, nous disposons d'une réponse filtrée et moyennée.

2- Analyse

L'analyse quantitative précise du signal enregistré (9) repose sur le choix de paramètres susceptibles de séparer de façon optimale des populations normale et pathologique. Ce dernier choix a posé quelques difficultés dans la mesure où il n'existe pas de véritable modèle physiopathologique du réflexe pupillaire. Nous avons donc été amenés à caractériser la

réponse par un certain nombre de paramètres à priori représentatifs du comportement dynamique de la pupille. Ces paramètres sont les suivants : surface pupillaire au repos, temps de latence avant la contraction, vitesse de contraction, amplitude de la contraction, temps de latence avant la dilatation, vitesse de dilatation.

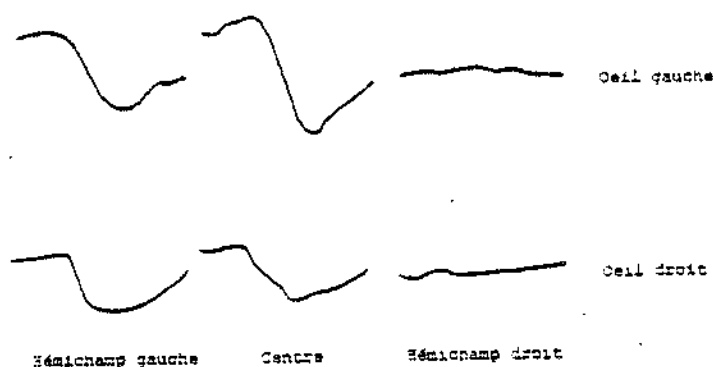
Dès que le programme d'analyse est lancé, des critères basés sur des seuils directement proportionnels à l'amplitude du signal initial permettent un découpage automatique du signal moyenné, malgré la grande variabilité (en amplitude) des réponses recueillies d'un patient à un autre.

Sur chaque morceau ainsi déterminé, le ou les paramètres correspondants sont calculés : recherche de maximum et de minimum avec interpolation entre points d'échantillonnage pour les temps de latence, recherche d'extréma sur la dérivée du signal pour les vitesses de réaction, simple soustraction pour les amplitudes (9).

Les résultats sont alors affichés sur l'écran de contrôle sous forme numérique et sous forme graphique (Cf. Figure 5), ce qui permet à l'opérateur de vérifier la validité des calculs. Ce dernier peut ensuite éditer les résultats et les courbes sur table traçante (Cf. Figure 6).

APPLICATIONS CLINIQUES.

Les applications cliniques fournissent plusieurs types d'information. 1. Une évaluation de la conduction des voies visuelles.



Dans l'exemple de la figure 7, aucune réponse pupillaire n'est obtenue dans l'hémichamp droit du patient ce qui conduit au diagnostic d'une atteinte antégniculée et postchiasmatique.

évaluation qualitative.

Chez un sujet atteint d'amblyopie alcoolo-tabagique, les réponses périphériques sont plus amples que les réponses centrales ce qui confirme le diagnostic d'un scotome central (Cf. Figure 8).

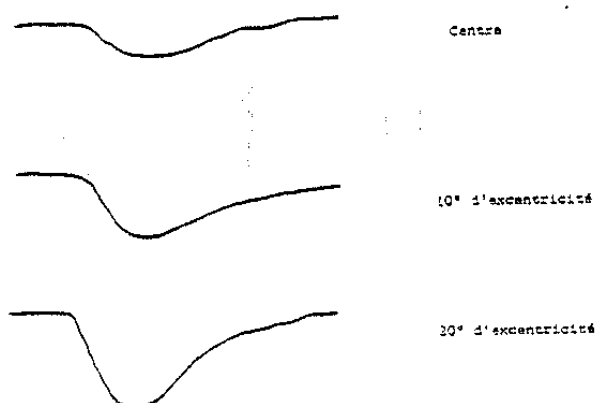


Figure 8 : Réponses pupillaires d'un patient atteint d'amblyopie alcoolo-tabagique, pour différentes positions de la stimulation.

évaluation quantitative.

Cette évaluation permet une analyse comparative des réponses par rapport à des valeurs normales. Par exemple, pour la sclérose en plaque, nous avons pu dissocier populations normale et pathologique pour chaque paramètre calculé. La figure 9 en est l'illustration pour les temps de latence.

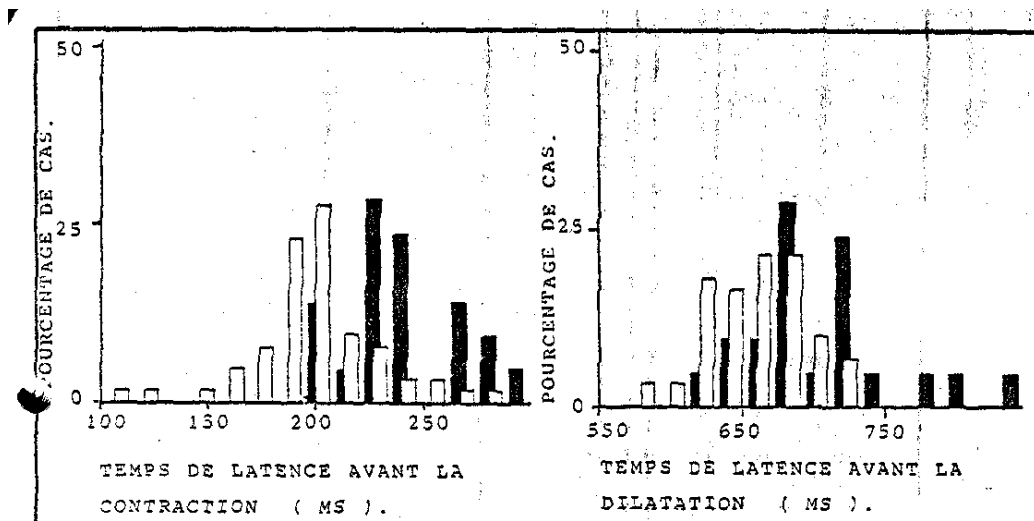


Figure 9 : Répartition des temps de latence de populations saine et pathologique : sclérose en plaque.

Pour déterminer la possibilité de différenciation des deux populations, nous avons testé l'identité des moyennes en supposant les distributions normales. Pour chaque paramètre, la discrimination des moyennes est statistiquement obtenue avec une confiance supérieure à 95 %.

CONCLUSION

Du test de conduction des voies visuelles aux évaluations qualitative classique courante et quantitative que nous avons développée, la réponse pupillaire permet le diagnostic de différents types d'atteintes. Pour en faciliter l'étude et aider le clinicien dans son diagnostic, nous avons développé un dispositif de mesure précise de la réponse pupillaire ainsi qu'une quantification automatique de ce réflexe. Six paramètres à priori représentatifs du comportement dynamique de la pupille ont été choisis et sont à la base de la caractérisation des différentes pathologies.

Nous avons inséré ce module dans un dispositif plus général d'examen assisté par ordinateur qui inclut des examens complémentaires tels que le champ visuel et l'électrophysiologie de la vision (PEV, ERG, EOMG).

BIBLIOGRAPHIE

- 1 - AOYAMA T. "Visual field changes examined by pupillography in glaucoma". Third international Visual Field Symposium, The Hague, 265-271, 1979.
- 2 - CHARLIER J. "Examen automatique du champ visuel.~ Etude et réalisation du dispositif de stimulation.", Thèse de 3e cycle, Université de Lille II, 1979.
- 3 - CHARLIER J., HACHE J.C. "L'examen automatique du champ visuel. Problèmes et solutions". Innovation et Technologie en Biologie et Médecine, Vol. 1, 101-104, 1980.
- 4 - CHARLIER J., HACHE J.C. "VER AND PUPILLARY REFLEX", Doc. Ophtal. Proc. Series, Vol. 27, 263-268, 1981.

- 5 - CHARLIER J., SOZANSKI J.P., HACHE J.C., MOSCHETTO Y. "Système de monitoring de la direction du regard et de la surface pupillaire durant les examens du champ visuel", IRIES TOURS, 25-26 mai 1981.
- 6 - CHARLIER J., HACHE J.C. "New instrument for monitoring eye fixation and pupil size during the visual fi examination". Med. & Biol. Eng. & Computer, 20, 23-28, 1982.
- 7 - GUILLAUMAT L., MORAX P.V., OFFRET G. "La pupille", Neuro-ophtalmologie, Vol. 1, 117-150, 1959.
- 8 - HACHE J.C., DUBOIS P., LEFLON G. "Recherche sur la périmétrie automatique", Lille médical, 21, 852-856, 1976.
- 9 - HUGEUX J.P. "Analyse du réflexe pupillaire". DEA, Université de Lille II, 1981.
- 10 - LOWENSTEIN O., FRIEDMAN E.D. "The present state of pupillography. Its method and diagnosis significance". Ar Ophtal. Chicago, 27, 969, 1942.
- 11 - LOWEINSTEIN O. "Pupillary reflex shapes and topical clinical diagnosis. Neurology, 5, 631-644, 1955.
- 12 - NYMAN J.S., NYMAN N.N. "Pupillary examination", J. Am. Optometric Assoc., Vol. 48, 1375-1380, 1977.
- 13 - WYBAR K.C. "Ocular manifestations of disseminated sclerosis. Proc. R. Soc. Med. 45, 315-320, 1952.