

UNE NOUVELLE TECHNIQUE D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES PAR TRAITEMENT D'IMAGE. PRINCIPE ET MÉTHODE

C. BUQUET, J. CHARLIER*, S. TOUCAS, M.-A. QUERE**

Mots clés : Mouvements oculaires enregistrement, électro-oculographie, photo-oculographie, versions, vergences.

Key words : Eye movement recording, electro-oculography, photo-oculography, versions, vergences.

RESUME

A l'heure actuelle, l'électro-oculographie reste la seule méthode clinique d'enregistrement des mouvements oculaires qui soit largement utilisée en pratique courante, mais elle comporte de nombreux aléas et limites. Jusqu'à présent les techniques photo-oculographiques ont été utilisées uniquement au laboratoire. Un nouveau procédé de photo-oculographie différentielle par traitement d'image est présenté. C'est une méthode optique de calcul de la direction du regard à partir de la position relative de 5 reflets cornéens et l'image de la pupille qui sont localisés dans des plans différents. Les auteurs détaillent les divers matériels utilisés pour les enregistrements et l'analyse informatique des tracés. Les premiers résultats confirment les avantages réels de la méthode pour l'enregistrement de tous les types de mouvement oculaires dans les conditions cliniques.

SUMMARY

Nowadays, electro-oculography remains the only clinical method for ocular movement recording which is largely used in daily practise, but it has many drawbacks and limits. Till now the photo-oculographic technics have been only applied in laboratory conditions. A new differential photo-oculographic procedure is presented. This optical method is based upon the measurement of gaze direction and ocular movement amplitude from the relative pattern of five reflected corneal dots and pupil image which are located in two different optical plans. The authors relate in detail the recording devices and processing materials for the computerized analysis of video signals. The preliminary results confirm the real advantages of the method which allows to record all sorts of ocular movements in clinical conditions.

INTRODUCTION

L'électro-oculographie reste actuellement la seule méthode clinique d'enregistrement des

mouvements oculaires qui soit largement utilisée en pratique courante.

Il a cependant été parfaitement démontré qu'elle a de nombreux aléas et limites. De surcroît elle ne permet qu'une appréciation qualitative et comparative de la cinétique de chaque œil et seulement sur l'axe horizontal.

C'est la raison pour laquelle les chercheurs ont mis au point un très grand nombre de méthodes

* U 279 INSERM - 1, rue du Professeur Calmette, 59800 LILLE.

METROVISION - Triolo, 59650 VILLENEUVE D'ASCQ.

** Clinique Ophtalmologique Universitaire, Hôtel-Dieu, 44035 NANTES Cedex.

UNE NOUVELLE TECHNIQUE D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES PAR TRAITEMENT D'IMAGE. PRINCIPE ET MÉTHODE

photo-oculographiques et plus récemment électromagnétiques. Au laboratoire elle sont d'une précision extrême, mais de multiples raisons font que presque toutes sont inutilisables en pratique courante et principalement parce qu'elles sont contraignantes.

Elle exige en effet une immobilité rigoureuse de la tête et/ou la pose d'un verre de contact.

Les méthodes par simple réflexion d'une source de lumière sur la cornée (Carmichael et Deaborn 1946-2) ou sur le limbe (Torok et coll. 1951-8) sont connues depuis longtemps. Il s'agit d'une photo-oculographie élémentaire qui présente un inconvénient majeur : elle ne fait pas la différence entre un mouvement de rotation de l'œil et un mouvement de translation de la tête. En effet, tout millimètre de déplacement de la tête donne l'équivalent au niveau de l'image réfléchie d'une rotation de 5 degrés du globe. Il est évident que, même avec une contention céphalique rigoureuse, on ne peut neutraliser une telle cause d'erreur.

LA PHOTO-OCULOGRAPHIE DIFFÉRENTIELLE

Elle a été imaginée par Merchant en 1969 (5). Au lieu de se baser sur la position d'une seule image, on évalue les variations différentielles spatiales de deux images optiques : d'une part le reflet cornéen, d'autre part l'image virtuelle de la pupille au travers du dioptré cornéen.

Comme elles sont dans un plan optique différent, en cas de translation de la tête leur rapport restent identiques.

Au contraire, en cas de rotation de l'œil, elles se modifient suivant une relation remarquablement stable qui dépend uniquement de la géométrie de la chambre antérieure : rayon de courbure de la cornée et profondeur de la chambre (Charlier 1985-4).

La photo-oculographie différentielle n'a pu devenir opérationnelle que grâce à une série de progrès technologiques. Les recherches se multiplient. Au cours de ces dernières années, de nom-

breux auteurs français et étrangers, en particulier Baudonnière (1978-1), Ciuffreda (1983-7), Ober (1988-6), ont proposé des procédés originaux mais qui ne sont pas encore entrés dans la pratique courante.

LA MÉTHODE PAR TRAITEMENT D'IMAGE

1 - PRINCIPE

Dès 1979, des travaux ont été effectués à Lille pour appliquer cette méthode en pratique ophtalmologique. Le premier objectif a été le contrôle de la fixation durant l'examen automatisé du champ visuel (Charlier et Hache 1982-3).

Les études expérimentales ont permis de prendre conscience de multiples problèmes. Plusieurs années de recherche ont été nécessaires pour leur apporter une solution :

- imprécision des mesures liée à l'instabilité géométrique des caméras à balayage électronique ;

- variations importantes du contraste de l'image en relation avec la taille de la pupille ;

- masquage partiel des images par les paupières, les cils ou les reflets parasites sur la sclère ou même sur la peau.

Plusieurs progrès technologiques ont depuis permis de résoudre ces problèmes. Deux sont essentiels :

- L'utilisation de caméras à transfert de charges ou caméras CCD dont la géométrie est parfaitement définie et stable.

- L'introduction de techniques de traitement d'image beaucoup plus performantes. En effet, initialement la position de chaque image était déterminée à partir de la moyenne barycentrique des points détectés ; mais lorsque les images étaient partiellement masquées, il en résultait des erreurs importantes. La nouvelle technique utilise des algorithmes de reconnaissance de forme (Charlier et coll. 1985-4). Le reflet cornéen est

identifié grâce à l'utilisation des sources multiples formant un pattern caractéristique. Ainsi la pupille est identifiée à partir de la forme elliptique de son contour. Le résultat est fiable même si l'ellipse du contour pupillaire ou le pattern des reflets cornéens sont partiellement masqués (Fig. 1).

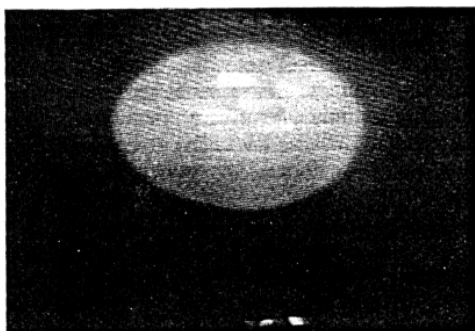


Figure 1

Pattern des 5 reflets cornéens et de l'image de la pupille captés par les caméras proche infrarouge.

2 - DESCRIPTION DE L'INSTRUMENT

L'appareil comprend (Fig. 2 et 3) :

- Une structure mécanique assurant le positionnement du patient et le réglage de la position des deux caméras en fonction de l'écart interpupillaire.

- Un capteur d'images constitué par :

- * un système d'éclairage dans le proche infrarouge

- * deux caméras à transfert de charge (CCD) et leur système optique. Leur fréquence d'échantillonnage est de 30 ou 60 Hz (30 ou 60 images par seconde)

- Deux systèmes de traitement d'image (un pour chaque œil) par logique câblée et micro-informatique.

- Un système de gestion de l'examen développé autour d'un microprocesseur Z 280. Celui-ci comprend :



Figure 2

Installation du patient sur la structure mécanique avec les deux caméras et le miroir réfléchissant.

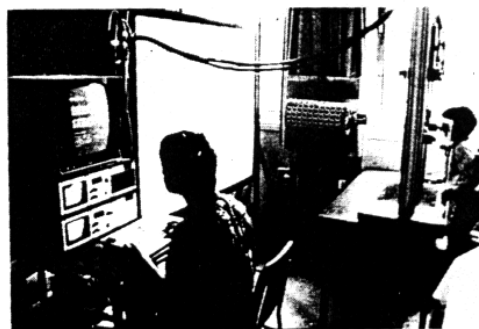


Figure 3

Système vidéo, calculateurs de traitement d'image et micro-ordinateur central.

- * une unité de stockage : disque dur de 20 MO

UNE NOUVELLE TECHNIQUE D'ENREGISTREMENT DES MOUVEMENTS OCULAIRES PAR TRAITEMENT D'IMAGE. PRINCIPE ET MÉTHODE

- * un écran alphanumérique et graphique pour la présentation des menus et pour la visualisation des tracés

- * deux écrans vidéo permettant le contrôle du comportement du patient pendant l'examen par visualisation de l'image de l'œil du patient.

Le processeur-maître pilote l'examen, assure le dialogue avec l'opérateur, commande le capteur de la direction du regard, visualise les réponses, enfin gère l'édition et le stockage des résultats.

Les deux processeurs-esclaves gèrent le recueil des images de l'œil et assurent le traitement qui permet de déterminer la direction du regard pour chacun des deux yeux.

3 points importants méritent d'être soulignés :

- il n'y a aucune contention céphalique du patient examiné,

- le champ de vision reste entièrement libre,

- un cache opaque à la lumière visible et laissant passer l'infrarouge permet les enregistrements en vision monoculaire.

3 - LOGICIEL D'ANALYSE DES TRACES

Les tracés obtenus sont représentés sur l'écran ou directement imprimés suivant le mode choisi :

- Pour chaque œil, composante horizontale et verticale du mouvement induit.

- Représentation spatiale du mouvement en XY (vectographie).

Les échelles d'amplitude et de temps peuvent être modifiées pour analyser les détails du tracé.

Des fonctions de filtrage et de calcul de dérivée (vitesse) sont également disponibles. Mais la fréquence d'échantillonnage des caméras actuelles (60 Hz) limite l'analyse de ces caractéristiques dynamiques aux mouvements lents (poursuite-vergences) et aux saccades de grande amplitude (autour de 40 degrés).

RÉSULTATS ET CONCLUSIONS

L'appareil est dès à présent opérationnel. Il a été évalué à la Clinique Ophtalmologique Universitaire de Nantes sur une série comportant une centaine de sujets normaux ou présentant divers dérèglements oculomoteurs.

Les séquences suivantes ont été enregistrées : fixation statique et mouvements spontanés anormaux (nystagmus), les divers types de versions optiquement élicitées (saccades, poursuite et nystagmus opto-cinétique), les vergences de refixation.

Les enregistrements ont été effectués simultanément en EOG et en POG afin de pouvoir comparer les performances respectives des deux méthodes.

Leur analyse montre les avantages indéniables de cette nouvelle technique : absence de toute contrainte, rapidité d'installation, possibilité d'examiner de très jeunes enfants. Elle permet de procéder dès à présent à une mesure fiable des mouvements horizontaux, mais également des mouvements verticaux et obliques, alors que la chose est totalement impossible avec l'EOG.

BIBLIOGRAPHIE

1 - Baudonnière P.-M., Pécheux M.-G., Taranne P. - *Un nouvel appareil d'enregistrement automatique de l'activité oculomotrice du jeune enfant*. Ann. Psychol., 1978, 78, 145-161.

2 - Carmichael L., Deadborn W.-F. - *Reading and visual fatigue*. Houghton Mifflin Co Boston 1947, p. 483.

3 - Charlier J., Hache J.-C. - *New instrument for monitoring eye fixation and pupil size during visual field examination*. Med. Biol. Eng. Comp. 1982, 2, 23-28.

4 - Charlier J., Bariseau J.-L., Chuffart V., Marsy F., Hache J.-C. - *Real time pattern recognition and feature analysis from video signals applies to eye movements and pupillary reflex analysis*. Documenta Ophthalmologica. Proceeding series. 1985, 42, 181-189.

5 - Merchant J., Morrisette R., Porterfield J.-L.
- *Remote measurement of eye direction allowing subject motion over one cubic foot of space.* IEEE Trans. Biol. Med. Eng. 1974, 21, 309-317.

6 - Ober J. - *The extended Beta evaluation of Ober 2 system.* XVII Concil. Europ. Strab. Assoc., Madrid, March 1988 (In the press).

7 - Schor C.-M., Ciuffreda K.-J. - *Vergence eye movements : basic and clinical aspects.* Butterworths, Boston 1983, p. 726.

8 - Torok N., Guillemin V., Barnothy J.-M. - *Photoelectric nystagmography.* Ann. Rhinol. Laryngol. 1951, 60, 917-926.