

Intérêt de la photo-oculographie dans l'évaluation des troubles visuospatiaux en rééducation

JM Beis¹, JM André², C Frenay², AM Datié², A Vielh², J Paysant², B Brugerolle¹

¹Centre de réadaptation fonctionnelle, rue du Professeur-Montaut, 54690 Lay-Saint-Christophe;
²institut régional de réadaptation, 35, rue Lionnois, 54042 Nancy Cedex, France

(Reçu le 10 janvier 1995; accepté le 18 janvier 1995)

Résumé – L'analyse des mouvements oculomoteurs chez les cérébrolésés en phase de rééducation peut aider à mieux connaître les relations qui existent entre les désordres visuospatiaux et les troubles du regard. Plusieurs méthodes sont utilisées. La photo-oculographie différentielle est une technique intéressante car elle semble adaptée aux cérébrolésés – souvent polydéficients – et répondre aux exigences d'un instrument de mesure. Les résultats attendus de la photo-oculographie et l'utilisation de modèles anatomofonctionnels et/ou cognitifs pourraient contribuer à la mise en place de traitements spécifiques.

photo-oculographie / troubles visuospatiaux / rééducation

Summary – The relevance of photo-oculography to the evaluation of visuospatial disorders in functional rehabilitation. The analysis of oculomotor movements in brain-injured patients during rehabilitation can contribute to a better understanding of the relationship between visuospatial and gaze disorders. Several methods can be applied. Differential photo-oculography is of great interest. We believe this procedure is well-adapted to brain-injured patients – often presented with multiple impairments – and meets the requirements of a measurement tool. The expected results of photo-oculography and the use of anatomico-functional and/or cognitive models could contribute to the set-up of specific treatments.

photo-oculography / visuospatial disorders / rehabilitation

Les résultats des nombreux travaux sur les mouvements des yeux lors d'une épreuve de lecture et/ou dans l'exploration libre d'une scène visuelle montrent que la connaissance des procédures mises en jeu – saccades/fixations – est nécessaire pour mieux comprendre les étapes d'intégration perceptive et le traitement cognitif du message visuel.

Chez le sujet sain, lors de l'exploration libre d'une scène visuelle, plus le matériel visuel est complexe, plus les fixations sont courtes et les déplacements nombreux. Jeannerot *et al* [8] suggèrent l'intrication continue de complexes – fixations/mouvements –. La durée de la fixation dépend de l'analyse du matériel fovéal mais aussi de l'intensité des stimulations des zones périphériques de la rétine, le déplacement oculaire fournissant alors la réponse à une expectative d'information. Rayner *et al* [17] puis Loftus [11] montrent

que la phase perceptive est plus courte lors d'une épreuve de lecture de texte que dans l'exploration d'une scène visuelle. L'étude des mouvements oculaires évoqués lors d'activités cognitives et/ou de tests utilisant des stimuli émotionnels s'attache à démontrer les interactions entre le regard et l'état d'activation hémisphérique [13, 19].

En pathologie neurologique, les troubles de la reconnaissance des objets et les désorientations spatiales s'accompagnent dans bon nombre de cas de perturbations oculomotrices. L'utilisation en milieu de rééducation d'une méthode d'évaluation des difficultés oculomotrices chez les cérébrolésés peut contribuer à une analyse plus fine des relations entre troubles visuospatiaux et troubles du regard – cause et/ou conséquence d'un désordre de la pensée spatiale [8] – et permettre à terme de modifier l'approche thérapeutique.

PRINCIPE DE LA PHOTO-OCULOGRAPHIE DIFFÉRENTIELLE

Rappel physiologique

L'analyse des détails des objets par l'œil sain se fait par une succession de mouvements rapides, les saccades, qui amènent successivement la fovea en coïncidence avec les différentes zones d'intérêt de l'image regardée. Les détails ne sont perçus que pendant les périodes d'immobilité relative de l'œil, que sont les fixations.

Depuis les années 1920, la méthode électro-oculographique, fondée sur la mesure de différence de potentiel, liée à la création d'un dipôle dû aux modifications ioniques créées par les mouvements de l'œil, demeure la seule utilisée. Son utilité est limitée par des contraintes matérielles: présence d'électrodes désagréables et perturbant la cinétique oculaire, polarisation des électrodes [1]. D'autres méthodes sont proposées: magnétique [18] et optique; leur intérêt reste limité car elles ne permettent pas de faire la différence entre les mouvements de rotation de la tête et les mouvements de l'œil [20].

Le principe de la photo-oculographie différentielle est récent, établi par Marchant en 1969 et appliqué plus récemment par Charlier *et al* [3, 4] et Buquet [1].

L'appréciation de la direction du regard par une méthode optique différentielle est basée sur la mesure de la position relative des images de la pupille et du reflet cornéen. Le reflet cornéen est la réflexion d'une source de lumière sur la face avant de la cornée; l'image de la pupille est l'image virtuelle de la pupille réelle au travers de ce même dioptré cornéen. Cette méthode n'est sensible qu'aux mouvements de rotation du globe oculaire et non aux mouvements de la tête, ce qui évite toute contrainte d'immobilisation.

Description du dispositif (fig 1)

Une caméra à balayage standard, sensible dans le proche infrarouge, est utilisée comme capteur d'images. La précision du déplacement oculaire de l'œil est de 1° pour un champ oculaire couvert de 15 mm × 15 mm. L'image vidéo obtenue est analysée en temps réel à l'aide d'un système de traitement informatique spécifique. Sont recueillis d'une part le reflet pupillaire et d'autre part le reflet cornéen: celui-ci est fourni par le traitement des « événements » reflets cornéens, traitement qui consiste en l'élimination des points

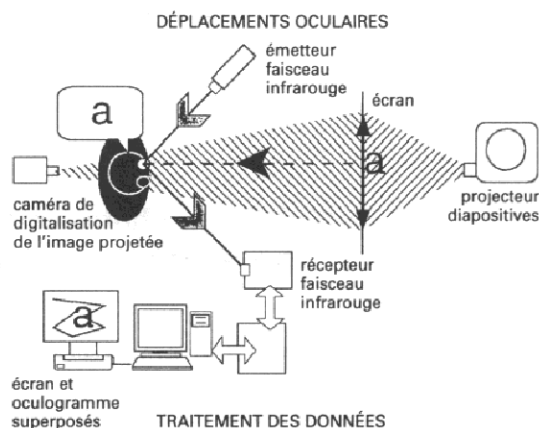


Fig 1. Système de projection, calculateurs de traitement d'image et micro-ordinateur.

trop éloignés de la pupille et des points isolés (reflets parasites sur la sclérotique ou sur les cils). Quatre sources d'images périphériques sont ajoutées de façon à définir des paramètres de référence de position et d'orientation éliminant alors les reflets parasites et optimisant le « pattern » des événements cornéens. La position du reflet cornéen est ensuite calculée comme le barycentre des cinq reflets cornéens.

Ce dispositif se compose de deux parties:

- un système de projection avec un projecteur de diapositives, un écran 1,50 m × 1,50 m; le choix de la diapositive est libre. L'angle de vue est de 40°, le sujet étant placé à 1,50 m de l'écran;
- un système de traitement avec écran, disque dur et imprimante.

Réalisation de l'examen

Le sujet est installé dans l'obscurité, la tête orientée dans le champ de visée de la caméra; la mise au point et la calibration de l'œil sont automatiques et ne nécessitent qu'une collaboration minimale du sujet. Les paramètres de cette diapositive, c'est-à-dire le temps de projection, la luminance, la netteté des caractères, etc sont déterminés à l'avance et inchangés au cours de l'épreuve, ainsi que la consigne reçue par le sujet. Pendant le temps de présentation de la diapositive, la direction du regard est mesurée environ 30 fois par seconde. L'ensemble de l'examen dure environ 10 minutes. Les résultats sont visualisés en temps réel sur l'écran de contrôle en superposition avec l'image projetée.

Analyse des résultats

L'appareil de photo-oculographie utilise des paramètres qualitatifs et quantitatifs à l'échelle d'un individu ou d'un groupe :

- les paramètres qualitatifs sont représentés par l'analyse morphologique du tracé du regard (trajet) en décomposant les mouvements de saccades et les périodes de fixation; les saccades sont des mouvements rapides (jusqu'à 1 000 mouvements par seconde) qui s'accompagnent d'une éclipse visuelle et destinés à placer l'image sur la fovea; elles permettent le déplacement entre les différentes cibles. Les fixations permettent la perception visuelle et l'analyse des détails de la cible;

- les paramètres quantitatifs sont fournis par le logiciel et intégrés en temps réel. Ils sont de deux types: pourcentage de temps passé dans les différentes zones d'intérêt et nombre d'accès dans chaque zone.

L'examineur doit définir au préalable des zones d'intérêt (régions supposées *a priori* attractives pour le sujet). Ces études peuvent être réalisées à titre individuel (bilan de troubles visuels) ou à titre collectif (étude du comportement visuel d'une population saine ou pathologique, ou étude du comportement visuel d'une population vis-à-vis d'une information visuelle).

APPLICATIONS

La photo-oculographie trouve ses premières indications médicales en ophtalmologie: strabisme [12, 14, 15, 16], paralysies oculomotrices, amblyopies organiques ou fonctionnelles, ophtalmomyopathies, déficit campimétrique [2], analyse du réflexe pupillaire [7]. Cette méthode d'exploration peut se révéler être une technique sensible de diagnostic et de différenciation entre l'hémianopsie et l'héminégligence chez un même patient [6]. Son principe est déjà utilisé pour l'étude de la lecture chez un sujet héminégligent. Karnath et Hubert [9] montrent que les mouvements oculaires du sujet héminégligent, au décours d'une épreuve de lecture, se terminent de façon stéréotypée au milieu de la ligne lorsque le sujet doit se déplacer d'une ligne à l'autre. Karnath [10], dans une étude plus récente, montre que la distribution spatiale des mouvements oculaires – mesurée par POG – n'a pas d'influence sur la capacité d'un sujet héminégligent à comprendre le thème d'un dessin. La POG est aussi utilisée afin d'étudier l'asymétrie dans la stratégie perceptive visuelle des visages et des expressions faciales émotionnelles: P Gallois met en évidence une asymétrie visuospatiale au profit de l'hémi-espace

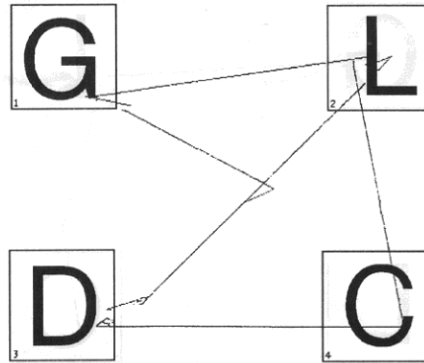


Fig 2. Déplacement mono-oculaire D chez un sujet normal. Lettres lues: GLDC.

gauche lors de l'exploration d'un visage parfaitement symétrique ainsi que l'activation de l'hémisphère droit au cours de la perception des visages et des expressions faciales [5].

Nous utilisons la POG comme outil d'évaluation du comportement oculomoteur chez le sujet normal et chez l'héminégligent G lors d'une tâche de lecture de lettres. L'objectif de cette étude est de montrer que les dissociations observées entre le déplacement oculaire et la réponse verbale sont en faveur de plusieurs mécanismes neuroanatomiques et cognitifs à l'origine de la négligence spatiale unilatérale et qu'en fonction de ceux-ci, de déterminer un protocole approprié de rééducation.

Les premiers résultats de cette étude permettent de faire quelques remarques:

- le temps passé et le nombre d'accès sur chaque lettre sont quantitativement moins importants chez les malades;
- toutes les lettres sont explorées et lues par les témoins (fig 2). Chez les malades, il existe une dissociation entre exploration et lecture, quelle que soit la position des lettres sur l'écran, droite ou gauche, avec une exploration sans lecture et/ou une absence d'exploration le plus souvent sans lecture (figs 3 et 4).

CONCLUSION

En rééducation fonctionnelle, de nombreux tests permettent d'étudier les troubles neurovisuels. La photo-oculographie se révèle être une technique intéressante dans l'évaluation de ces perturbations car:

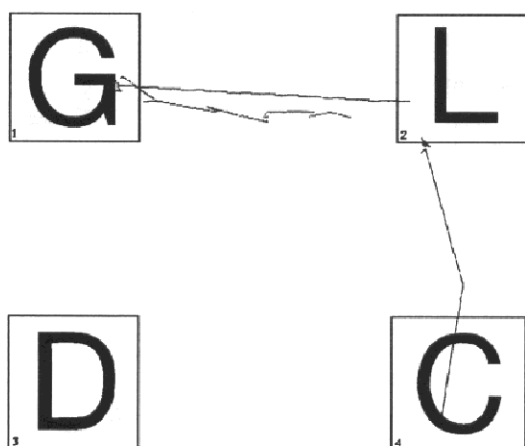


Fig 3. Déplacement mono-oculaire D chez un malade présentant une négligence spatiale unilatérale G. Lettre lue: L.

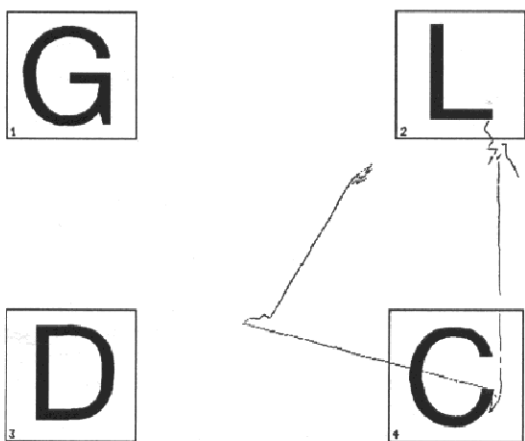


Fig 4. Déplacement mono-oculaire D chez un malade présentant une négligence spatiale unilatérale G. Lettres lues: LDC.

– la POG – en termes de faisabilité – nous semble adaptée à une population de cérébrolésés graves en précoce et/ou semi-précoce de rééducation;

– ce nouvel outil possède les qualités intrinsèques d'un instrument de mesure;

– enfin, l'analyse de la stratégie du regard chez les cérébrolésés, sur la base de modèles anatomofonctionnels ou faisant appel à la psychologie cognitive, peut aider à mieux comprendre les déficiences observées et permettre à terme une prise en charge plus spécifique.

RÉFÉRENCES

- 1 Buquet C, Charlier J, Toucas S, Quéré M. Comparaison des techniques d'électro-oculographie et de traitement d'image pour l'enregistrement des mouvements oculaires en clinique ophtalmologique. *Innov Tech Biol Med* 1989;10:542–52
- 2 Charlier J, Hache JC. New instrument for monitoring eye fixation and pupil size during the visual field examination. *Med Biol Eng Comp* 1982;2:23–8
- 3 Charlier J, Bariseau JL, Chuffart V, Marsy F, Hache JC. Real time pattern recognition and feature and analysis from video signals applies to eye movement and pupillary reflex analysis. *Documenta Ophthalmologica. Proceeding series*, 1985;42:181–9
- 4 Charlier J, Paris V. Model for the determination of the gaze direction from images of the eye. *Fourth European Conference on eye movements*. Toronto: CJ Hogrefe, 1987;1:9–10
- 5 Gallois P, Buquet C, Charlier J, Paris V, Hache JC, Dereux JF. Asymétrie dans la stratégie perceptive visuelle des visages et des expressions faciales émotionnelles. *Rev Neurol* 1989;145:661–4
- 6 Hornack J. Ocular exploration in the dark by patients with visual neglect. *Neuropsychologia* 1992;30:547–52
- 7 Hugué JP, Bariseau JL, Charlier J, Hache JC, Moschetto Y. Acquisition, traitement et analyse d'image de l'œil pour l'étude du réflexe pupillaire. *Innov Tech Biol Med* 1983; 4:159–68
- 8 Jeannerod M, Gerin P, Pernier J. Déplacements et fixation du regard dans l'exploration libre d'une scène visuelle. *Vision Res* 1968;8:81–97
- 9 Karnath HO, Hubert W. Abnormal eye movement behavior during text reading in neglect syndrome: a case study. *Neuropsychologia* 1992;30:593–8
- 10 Karnath OK. Spatial limitation of eye movements during ocular exploration of simple line drawing in neglect syndrome. *Cortex* 1994;30:319–30
- 11 Loftus GR. Eye fixation of text and scenes. In: Rayner K. *Eye Movements in Reading, Perceptual and Language processes*. New York: Academic Press, 1983:359–76
- 12 Malbrel C, Buquet C, Charlier J. La photo-oculomotricité: imagerie de la strabologie. In: *Coup d'œil*. Rev de Nantes en ophtalmologie 1990:55–6
- 13 Melvin R, Harris LJ. The effect of experimenter location and subject anxiety on cerebral activation as measured by lateral eye movements. *Neuropsychologia* 1980;18:89–93
- 14 Quéré MA, Lavenant F. Indications de la chirurgie du strabisme paralytique. In: *Coup d'œil*, 1990;28:28–34
- 15 Quéré MA, Toucas S, Buquet C, Charlier J, Lavenant F, Perchereau A. Photo-oculographie différentielle des mouvements verticaux et obliques. *Ophtalmologie* 1990;4:109–15
- 16 Quéré MA, Toucas S, Buquet C, Charlier J. Analyse des mouvements de vergence par photo-oculographie différentielle, 1989. 95^e Congrès de la Société Française d'Ophtalmologie
- 17 Rayner K, Inhoff AW, Morisson RE, Slowiaczek ML, Bertera JH. Masking of foveal and parafoveal vision during eye fixation in reading. *J Experiment Psychol Human Percept Perform* 1981;7:167–79
- 18 Robinson DA. A method of measuring eye movement using a scleral coil in a magnetic field. *IEE Trans Biomed Elect* 1963; BME-10:137–45
- 19 Saring W, Von Cramon D. Is there an interaction between cognitive activity and eye movements. *Neuropsychologia* 1980;18:591–6
- 20 Torok N, Guillemin V, Barthony JM. Telemetry of eye and head movement in ballet rotation. *Rhinolog Laryngolog* 1951;60:917