

APPLICATION DE LA TECHNIQUE PHOTO-OCULOGRAPHIQUE A L'ETUDE DE LA POURSUITE VISUELLE AU COURS DES PREMIERS MOIS DE LA VIE

J. CHARLIER*, C. BUQUET*, A. DESMIDT*, D. QUERLEU**

RÉSUMÉ

L'attraction du regard, le nystagmus optocinétique et la poursuite visuelle sont trois types de réponses oculomotrices observés dès la naissance. Plusieurs techniques ont été développées pour estimer les capacités de discrimination spatiale visuelle de l'enfant, à l'aide de l'attraction du regard ou du nystagmus optocinétique. Nous avons cherché à développer une approche similaire basée sur les réponses de poursuite visuelle.

Dans un premier temps, nous avons mis au point un stimulus en mouvement stimulant spécifiquement les fonctions de discrimination spatiale. Ce stimulus est généré sur un écran cathodique couvrant un angle visuel de 60 degrés et placé à 30 cm des yeux de l'enfant. Il est constitué d'un réseau de barres vu sous un angle de 9,4 degrés et se déplaçant à une vitesse constante de 8 degrés par seconde sur un fond de luminance équivalente de 5cd/m².

Les mouvements oculaires sont enregistrés à l'aide de la technique photo-oculographique. Cette technique, basée sur la mesure de la position du reflet cornéen relative à l'image de la pupille, permet une mesure objective de la direction du regard, indépendante des mouvements de la tête du bébé, absolue et fiable dans toutes les directions du regard. Plusieurs adaptations techniques ont permis son utilisation sur les enfants d'âge compris entre 0 et 4 mois. Les mouvements oculaires ont pu être enregistrés chez 125 sujets. 72,5 % de ces 125 sujets ont présenté une poursuite au moins partielle pour des stimuli de fréquence spatiale atteignant 0,4 cycle par degré. Les estimations de l'acuité visuelle réseau ainsi obtenues sont du même ordre de grandeur que celles fournies par la méthode du regard préférentiel.

INTRODUCTION

Les réponses oculomotrices sont parmi les principales modalités de réponse utilisables chez l'enfant non verbalisé pour l'évaluation de ses fonctions visuelles. Plusieurs d'entre elles ont été étudiées jusqu'à présent : le regard préférentiel (FANTZ, 1962, DOBSON et TELLER, 1988, VITAL-DURAND et HULLO, 1989), le nystagmus optocinétique (NOC) GORMANN et al., 1957, REINECKE et COGAN, 1958, GODDE-JOLLY et al., 1968, GRALL et al., 1973) et la

poursuite visuelle (SCHWARTING, 1954, BROWN et YAMAMOTO, 1961, DAYTON et al., 1964) et la poursuite visuelle (SCHWARTING, 1954, BROWN et YAMAMOTO, 1961, DAYTON et al., 1964).

Plusieurs arguments nous ont amené à préférer une approche basée sur la poursuite visuelle. C'est une réponse facile à identifier même sans calibration. Elle est fiable car il est difficile d'obtenir un comportement de poursuite en l'absence de stimulation visuelle. Elle permet l'évaluation des capacités de discrimination spatiale grâce à l'utilisation de mires structurées de petites dimensions, se déplaçant sur un fond de même luminance (CHARLIER et al., 1987, BUQUET et al., 1992).

* Unité 279 INSERM - 1, rue du Pr. Calmette - LILLE.

** Clinique obstétrique Paul Gellée - ROUBAIX.

APPLICATION DE LA TECHNIQUE PHOTO-OCULOGRAPHIQUE A L'ETUDE DE LA POURSUITE VISUELLE AU COURS DES PREMIERS MOIS DE LA VIE

Dans la plupart des travaux antérieurs, l'analyse des mouvements oculaires était basée sur l'observation directe des yeux ou sur l'enregistrement électro-oculographique (EOG). La première solution est tributaire du talent et de l'expérience de l'observateur et permet difficilement l'analyse dynamique du mouvement. La seconde présente plusieurs inconvénients. D'une part, la dérive du potentiel d'électrodes rend souvent difficile l'identification des mouvements de poursuite, tout particulièrement pour les mouvements lents utilisés chez les très jeunes enfants. D'autre part la méthode EOG ne permet pas de dissocier les réponses oculomotrices des réponses céphaliques qui sont importantes chez le nouveau-né.

Ces différents problèmes nous ont amené à choisir la technique photo-oculographique (POG) dont les mesures sont indépendantes des mouvements de la tête, absolues et de précision identique dans toutes les directions du regard. Par ailleurs, elle ne nécessite aucun contact avec le sujet. Après un rappel des principes de cette technique, nous décrirons les adaptations qui ont été nécessaires ainsi que les résultats obtenus sur un même groupe d'enfants à la naissance, à 2 mois et à 4 mois.

MÉTHODES ET INSTRUMENTATION

Adaptation de la POG à l'enregistrement des très jeunes enfants

La POG est basée sur la mesure du déplacement relatif de l'image d'une source lumineuse réfléchie sur la cornée et de l'image de la pupille (MERCHANT, 1974). Le système développé par notre laboratoire (CHARLIER et HACHE, 1982, CHARLIER et al., 1985) comprend un dispositif d'éclairage de l'œil dans le proche infrarouge (880 nm), une caméra à transfert de charge et un dispositif électronique de traitement d'image entièrement automatisé.

Le système optique a été adapté pour répondre aux contraintes spécifiques de l'enregistrement des bébés (DESMIDT, 1993). Tous les objets placés à proximité immédiate des yeux provoquent la distraction des sujets testés, la plupart essayant d'attraper ces objets. Pour cette raison, un miroir "chaud" réfléchissant le proche infrarouge et transmettant le visible a été fixé à distance de l'enfant, sur l'écran cathodique de stimulation pour obtenir par réflexion l'image de l'œil du bébé. La caméra a été placée au-dessus de la tête afin de libérer le champ de vision (Figure 1). Elle est montée sur une tourelle motorisée suivant deux axes et pilotée à distance à l'aide d'un manche de commande pour centrer le champ de la caméra (20 mm) sur l'œil de l'enfant.

L'image fournie par la caméra est analysée de façon entièrement automatique afin d'extraire la position relative de l'image de la pupille et de celle du reflet cornéen. La fréquence d'échantillonnage est de 30 images par seconde et la précision de mesure, évaluée chez l'adulte est meilleure que 1 degré. Les résultats sont stockés sur disquette magnétique pour permettre une exploitation ultérieure.

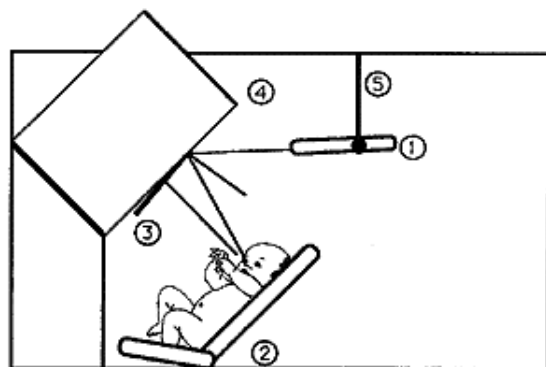


Figure 1

Montage optique

- 1 - Photo-oculographe
- 2 - Siège inclinable du bébé
- 3 - Miroir chaud
- 4 - Ecran cathodique de stimulation
- 5 - Tourelle motorisée portant la caméra

Les causes d'échec sont par ordre d'importance :

- le masquage de la pupille par la paupière inférieure ou l'absence de détection de la pupille (23 enfants soient 13 %),
- les pleurs, ou l'agitation des sujets (18 enfants soient 10 %),
- l'endormissement en cours d'examen (4 enfants soient 3 %).

A deux et quatre mois (groupes M-2 et M-4), tous les enfants ont pu être enregistrés. Il ne s'est jamais posé de problème de traitement de l'image de l'œil lié à la détection de la pupille.

Les figures 2 à 5 montrent des exemples de tracés avec poursuite, poursuite partielle ou absence de poursuite. Pour chaque exemple, la

courbe supérieure représente la composante horizontale du mouvement en fonction du temps et la courbe inférieure, la composante verticale.

La présence d'une poursuite est facile à identifier sur la base de la corrélation des positions et des vitesses horizontales de l'œil et du stimulus. Bien entendu le caractère absolu des mesures effectuées en POG est ici essentiel. Par ailleurs l'absence de mouvement vertical permet de confirmer le suivi du stimulus, ce dernier se déplaçant uniquement à l'horizontale.

Un suivi au moins partiel du stimulus a été obtenu chez 103 des sujets enregistrés à la naissance (82 %). Ce pourcentage augmente avec l'âge pour atteindre 97 % à 2 mois et 100 % à 4 mois. Les tracés présentent des épisodes de poursuite lisse chez 42 % des sujets à la naissance, 74 % à 2 mois et 85 % à 4 mois.

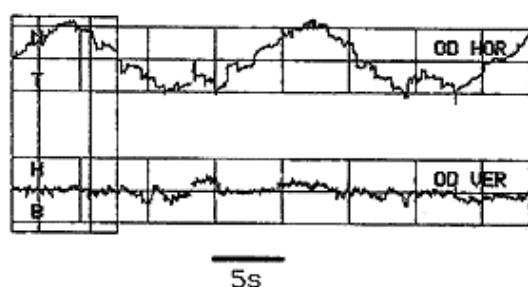


Figure 2

Poursuite obtenue chez un enfant de 2 jours.

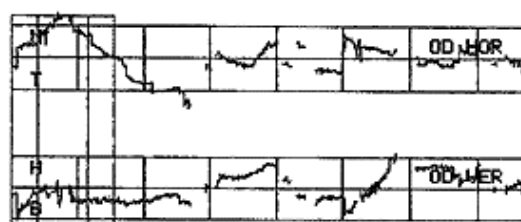


Figure 3

Poursuite partielle obtenue chez un enfant de 1 jour.

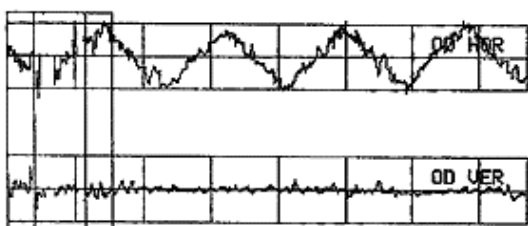


Figure 4

Poursuite obtenue chez un enfant de 2 mois.

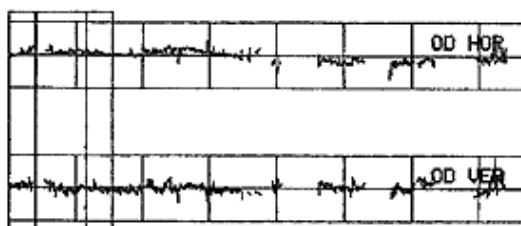


Figure 5

Absence de poursuite.

Sujets

170 bébés nés à terme ont subi un premier examen (M0) à un âge compris entre 1 et 9 jours (moyenne 3,4 jours). 45 enfants de ce même groupe sont revenus pour un deuxième examen (M2) à deux mois (entre le 56^{ème} et le 68^{ème} jour). 21 enfants, toujours de ce même groupe, ont subi un troisième test (M4) à 4 mois (entre le 120^{ème} et le 152^{ème} jour).

Prise en charge des enfants

Les réponses des nourrissons à des stimulations sensorielles présentent une grande variabilité inter-individuelle, mais aussi intra-individuelle. Celle-ci s'expliquerait en grande partie par leurs changements d'état d'éveil (HUTT et al., 1969). Afin de minimiser l'influence de ce facteur, les enfants ont été examinés en état de veille calme (état III de l'échelle de Prechtl) qui correspond au tableau comportemental suivant : yeux ouverts, absence de grands mouvements, respiration régulière (PRECHTL, 1974). Ceci a été facilité par la localisation de la salle d'examen à l'intérieur même de la maternité.

Après une courte phase d'habituation à l'opérateur et à l'environnement, les enfants sont installés sur un siège incliné à 45 degrés. Cette posture permet en effet d'obtenir le maximum

d'ouverture palpébrale et d'éviter ainsi le masquage de la pupille par les paupières.

Stimulation visuelle

Le stimulus visuel a déjà été décrit par ailleurs (CHARLIER et al., 1987, BUQUET et al., 1992). Il s'agit d'un réseau carré de taille comprise entre 5 et 10 degrés constitué de barres verticales alternativement noires et blanches. Ce réseau se déplace horizontalement à vitesse constante et est placé à 30 cm des yeux du bébé.

La luminance moyenne du réseau est identique à celle du fond de l'écran, ce qui stimule sélectivement la fonction de discrimination spatiale.

Cette stimulation visuelle est présentée en vision binoculaire sur un écran cathodique piloté par un micro-ordinateur qui contrôle sa luminance, son contraste, sa fréquence spatiale et sa vitesse de déplacement. Les conditions de stimulation ont été adaptées à chaque tranche d'âge pour tenir compte de la maturation des fonctions visuelles (Tableau I).

RÉSULTATS

A la naissance (groupe M-0), les mouvements oculaires ont pu être enregistrés de façon satisfaisante chez 125 des 170 sujets, soit 74 %.

GROUPE	NAISSANCE	2 MOIS	4 MOIS
Paramètre			
Vitesse	8 deg/s	16 deg/s	16 deg/s
Taille du stimulus	10 deg	5 deg	5 deg
Contraste	95 %	95 %	70 %
Premier test présenté	0,2 cpd	0,2 cpd	0,4 cpd

TABLEAU I

Conditions expérimentales utilisées pour les trois groupes d'âge.

Les causes d'échec sont par ordre d'importance :

- le masquage de la pupille par la paupière inférieure ou l'absence de détection de la pupille (23 enfants soient 13 %),
- les pleurs, ou l'agitation des sujets (18 enfants soient 10 %),
- l'endormissement en cours d'examen (4 enfants soient 3 %).

A deux et quatre mois (groupes M-2 et M-4), tous les enfants ont pu être enregistrés. Il ne s'est jamais posé de problème de traitement de l'image de l'œil lié à la détection de la pupille.

Les figures 2 à 5 montrent des exemples de tracés avec poursuite, poursuite partielle ou absence de poursuite. Pour chaque exemple, la

courbe supérieure représente la composante horizontale du mouvement en fonction du temps et la courbe inférieure, la composante verticale.

La présence d'une poursuite est facile à identifier sur la base de la corrélation des positions et des vitesses horizontales de l'œil et du stimulus. Bien entendu le caractère absolu des mesures effectuées en POG est ici essentiel. Par ailleurs l'absence de mouvement vertical permet de confirmer le suivi du stimulus, ce dernier se déplaçant uniquement à l'horizontale.

Un suivi au moins partiel du stimulus a été obtenu chez 103 des sujets enregistrés à la naissance (82 %). Ce pourcentage augmente avec l'âge pour atteindre 97 % à 2 mois et 100 % à 4 mois. Les tracés présentent des épisodes de poursuite lisse chez 42 % des sujets à la naissance, 74 % à 2 mois et 85 % à 4 mois.

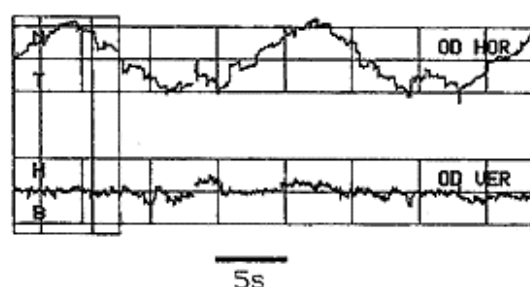


Figure 2

Poursuite obtenue chez un enfant de 2 jours.

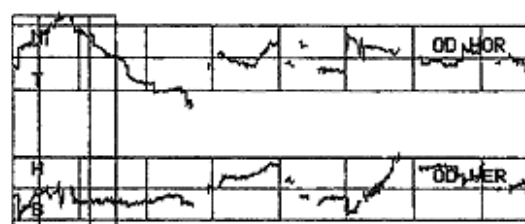


Figure 3

Poursuite partielle obtenue chez un enfant de 1 jour.

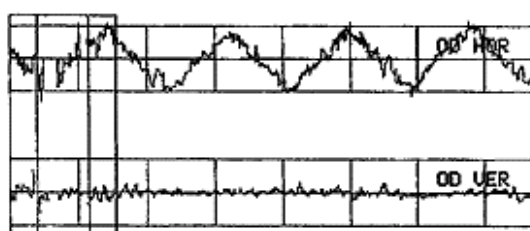


Figure 4

Poursuite obtenue chez un enfant de 2 mois.

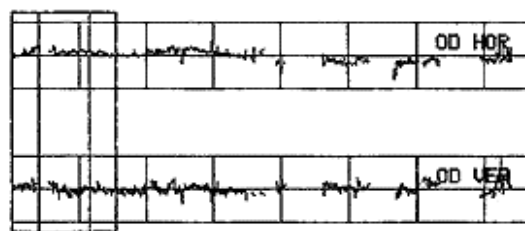


Figure 5

Absence de poursuite.

DISCUSSION

Nous avons montré comment la photo-oculographie peut être utilisée pour l'enregistrement objectif des réponses oculomotrices du très jeune enfant, de la naissance à 4 mois. Cette technique est particulièrement bien adaptée à l'examen des enfants en raison de sa facilité de mise en œuvre. Par ailleurs le caractère absolu et quantitatif des mesures facilite l'interprétation des tracés.

Nos résultats montrent qu'un grand nombre de nouveau-nés sont capables de suivre un objet en mouvement, ce qui confirme les travaux antérieurs. Par contre, nous trouvons dès le plus jeune âge un pourcentage non négligeable de sujets présentant des épisodes de poursuite lisse (42 %). Ce résultat contredit de nombreux auteurs qui ont affirmé que la poursuite lisse n'apparaissait pas avant 6 semaines (MC GINNIS, 1930, DAYTON et al., 1964, ASLIN, 1981). Un seul travail fait état d'un résultat similaire dans la première semaine suivant la naissance (KREMENITZER et al., 1979). Il est possible que ces résultats contradictoires soient dus aux conditions de stimulation, en particulier à des différences de taille, de structure et de vitesse du stimulus.

La présence de phases de poursuite lisse pourrait être un indice de maturation de la vision maculaire et des mécanismes corticaux. Cependant, les connaissances sur les mécanismes impliqués et leur maturation (BRONSON, 1974, ASLIN, 1981) ne semblent pas être encore suffisamment établies pour tirer de ces résultats des conclusions arrêtées.

Cette étude a été financée partiellement par le contrat de recherche INSERM-CNAMTS 701067.

BIBLIOGRAPHIE

1 - Aslin R.N. - *Development of smooth pursuit in human infants*. In : *Eye Movements : cognition and*

Visual Perception. Edité par Fischer D.F., Monty R.A. et Senders J.W. Lawrence Erlbaum 1981.

2 - Bronson G.W. - *The postnatal growth of visual capacity*. *Child dev.* 1974, 45, 873-890.

3 - Brown A.M., Yamamoto M. - *Visual acuity in newborn and preterm infants measured with grating acuity card*. *Am. J. Ophthalmol.*, 1986, 102, 245-253.

4 - Brown C.A. - *The development of visual capacity in the infant and young child*. *Cerebral Palsy Bulletin*, 1961, 3, 364-372.

5 - Buquet C., Desmidt C., Charlier J., Querleu D. - *Evaluation des capacités de discrimination spatiale des enfants nouveau-nés par la poursuite visuelle de tests structurés*. *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. Paris, t.314, Série III, P. 133-140, 1992.

6 - Charlier J.R., Hache J.C. - *New instrument for monitoring eye fixation and pupil size during the visual field examination*. *Med. Biol. Eng. Comput.* BME, 1982, 20, 23-28.

7 - Charlier J., Bariseau J.L., Chuffart V., Marsy F., Hache J.C. - *Real time pattern recognition and feature analysis from video signals applied to eye movement and pupillary reflex monitoring*. *Doc. Ophthalmol. Proc. Series*, 1985, 42, 181-189.

8 - Charlier J., N'Guyen D.D., Hugué J.P., Querleu D., Dewavrin D., Hache J.C., Defoort S. - *A new technique for the clinical evaluation of visual functions in human neonates*. In *Advances in Diagnostic Visual Optics*. Florentini, Guyton, Siegel Editors, Springer Verlag 1987, 176-180.

9 - Dayton G.O., Jones M.H., Aiu P., Rawson R.A., Steele B., Rose M. - *Developmental study of coordinated eye movements in the human infants*. *Arch. Ophthalmol.*, 1964, 71, 865-870.

10 - Desmidt A. - *Evaluation de la maturation des fonctions visuelles de l'enfant entre 0 et 4 mois*. Thèse de Doctorat de Génie Biologique et Médical. Lille II. A paraître.

11 - Dobson V., Teller D.Y. - *Visual acuity in human infants : a review and comparison of beha-*

vioural and electrophysiological studies. Vision Research, 1978, 18, 1469-1483.

12 - Fantz R.L., Ordly J.M., Urdelf M.S. - Maturation of pattern vision in infants during the first six months. J. Comp. Physiol. Psychol. 1962, 55, 907-917.

13 - Godde-Jolly D., Ducan M., Lanthony P., Bonnin P. - A propos de la mesure objective de l'acuité visuelle de l'enfant à l'aide du nystagmus optocinétique. Bull. Soc. Fr. Ophtalmol., 1968, n48, 865-869.

14 - Gormann J.J., Cogan D.G., Gellis S.S. - An apparatus for grading the visual acuity on the bases of optokinetic nystagmus. Pediatrics, 1957, 19, 1088-1092.

15 - Grall Y., Sourdille J., Delthil S., Ninnin E. - Essais de mesure de l'acuité visuelle chez l'enfant par des méthodes objectives : le nystagmus et les potentiels évoqués. Bull. Soc. Fr. Ophtalmol., 1973, 86, 56-59.

16 - Hutt S.J., Lenardt G., Prechtl H.F.R. - Psychological studies in newborn infants, in Lipsitt and Reese (eds), *Advances in child development and behavior*. New York/London, Academic Press, 1969, 4, 128-172.

17 - Kremenitzer J.P., Vaughan H.G., Kurtzberg D., Dowling K. - Smooth pursuit eye

movements in the newborn infants. Child Develop., 1979, 50, 442-448.

18 - Mc Ginnis J.M. - Eye movements and optic nystagmus in early infancy. Genetic Psychol. Monographs, 1930, 8, 321-430.

19 - Merchant J., Morissette R., Portefield J.L. - Remote measurements of eye direction allowing subject motion over one cubic foot space. IEEE Trans., 1974, 21, 309-317.

20 - Prechtl H.F.R. - The behavioral states of the newborn infant (a review). Brain Research. 1974, 76, 185-212.

21 - Reinecke R.D., Cogan D.G. - Standardization of objective visual acuity measurement. Optokinetic nystagmus vs. Snellen acuity. Arch. Ophthalmol., 1958, 60, 3, 418-421.

22 - Schwarting B.H. - Testing infants vision : an apparatus for estimating the visual acuity of infants and young children. Am. J. Ophthalmol., 1954, 38, 5, 714-715.

23 - Vital-Durand F., Hullo A. - La mesure de l'acuité visuelle du nourrisson en six minutes : les cartes d'acuité de Teller. J. Fr. Ophtalmol., 1989, 12, 221-225.