

CERVEAU

La perception visuelle et le développement précoce du cerveau

Teresa Farroni, Ph.D., Enrica Menon, Ph.D.

Dipartimento di Psicologia dello Sviluppo e della Socializzazione, University de Padoue, Italie

Centre for Brain and Cognitive Development, School of Psychology, Birkbeck College, University of London, Royaume-Uni

Mars 2009

Introduction

Une partie importante de notre *cortex cérébral* est consacrée principalement au traitement visuel. La vision fournit de l'information sur notre environnement sans le besoin de proximité nécessaire dans le cas du goût, du toucher et de l'odorat. La vision a une importance primordiale dans chaque aspect de notre vie quotidienne.

Sujet

Différentes régions du cerveau, de même que différents processus de perception, sont responsables de fonctions visuelles particulières, comme la perception du mouvement, de la couleur et de la profondeur. Il y a même des régions particulières du cerveau qui traitent uniquement la reconnaissance faciale ou les mouvements biologiques (c.-à-d. autres que ceux des objets) et d'autres qui se consacrent uniquement à la reconnaissance des objets. Les dommages cérébraux localisés qui affectent ces régions peuvent entraîner des troubles particuliers comme la

prosopagnosie, c'est-à-dire la perte de la capacité à reconnaître des visages, alors que la reconnaissance des objets n'est pas affectée. La vision semble donc être un bon point de départ pour étudier les manifestations fonctionnelles du développement du cerveau.

Problèmes

Il est difficile de déterminer si les changements relatifs aux habiletés visuelles pendant le développement sont causés par les limites des structures périphériques, comme l'œil, le cristallin et les muscles, ou s'ils sont dus à des changements à l'intérieur du cerveau. Les capacités perceptuelles des jeunes nourrissons sont clairement limitées par les immaturités des systèmes sensoriels périphériques (p. ex., l'acuité spatiale est limitée par l'immaturité de la rétine); les circuits visuels en développement peuvent bénéficier de la protection contre « la surcharge d'information » causée par trop de détails très fins et étrangers au nourrisson.¹ Cependant, la question demeure : Quelle est la contrainte majeure sur le développement de la perception?

Contexte de la recherche

La sensibilité visuelle est faible chez les primates nouveau-nés et se développe graduellement pour atteindre le niveau adulte au cours des premières années postnatales. De nombreuses études sur le développement visuel ont décrit ce processus. Généralement, la sensibilité au contraste et l'acuité, évaluées à l'aide de mesures psychophysiques, sont matures vers l'âge de cinq à six ans chez les humains et vers l'âge d'un an chez les singes. Les mesures comportementales montrent que la sensibilité et l'acuité s'améliorent en même temps, mais les mesures électrophysiologiques suggèrent que la sensibilité au contraste des éléments neuraux peut devenir mature beaucoup plus tôt.^{2,3,4,5}

Récents résultats de recherche

Au cours des dernières décennies, des progrès considérables nous ont permis de comprendre le développement de la vision pendant les premières années de vie. Il est devenu évident que la fonction visuelle comprend divers aspects qui débutent et qui deviennent matures à différents moments, et que le système visuel comporte plusieurs *aires corticales* et *sous-corticales*, chacune jouant un rôle propre dans le traitement d'aspects spécifiques de l'information visuelle.⁶ Une percée majeure a été la capacité d'évaluer différents aspects de la fonction visuelle, comme l'acuité, les champs visuels ou l'attention visuelle, de façon longitudinale dès la période néonatale.

Nous avons pu ainsi établir le début et la maturation de chacun de ces aspects chez les nourrissons normaux, fournissant ainsi des données normatives en fonction de l'âge.⁷ L'utilisation combinée des techniques de *neuroimagerie* et d'*électrophysiologie* a contribué à élucider davantage la corrélation entre différents aspects de la fonction visuelle et les différentes zones du cerveau, et de suggérer des mécanismes possibles de maturation de la fonction visuelle chez les enfants normaux et chez ceux ayant des lésions néonatales du cerveau. Plusieurs études récentes ont fourni des données probantes indiquant que le développement normal de la vision dépend de l'intégrité d'un réseau complexe qui comprend non seulement les radiations optiques et le *cortex visuel primaire*, mais aussi d'autres zones corticales et sous-corticales, comme les *lobes frontaux* et *temporaux* ou les *ganglions de la base* que l'on sait associés à l'attention visuelle et à d'autres aspects de la fonction visuelle.⁸

Bien que l'anatomie de plusieurs routes distinctes entre la rétine et le cerveau ait déjà été identifiée au début du 20^e siècle⁹, la distinction fonctionnelle entre deux systèmes séparés définissant « où » est situé un objet et « ce que c'est », est le résultat d'études novatrices effectuées dans les années 1950 et 1960 portant sur les effets de la stimulation du cerveau et sur les lésions cérébrales. Dans les années 1970, Bronson a suggéré un modèle de développement visuel humain dans lequel la vision des nouveau-nés est principalement contrôlée au niveau sous-cortical, et où le cortex commence sa maturation environ deux mois après la naissance.¹⁰

La pertinence du contrôle sous-cortical a aussi été confirmée par les études d'imagerie qui montraient une capacité normale de fixer et de suivre des yeux chez les nourrissons qui avaient des lésions occipitales corticales considérables.¹¹

D'autres études ont ensuite confirmé que le cortex enlevait le contrôle exécutif appartenant aux modules sous-corticaux et ont aussi suggéré que la fonction corticale impliquait différents courants traitant des aspects particuliers de l'information visuelle.¹² Chacun de ces aspects devient opérationnel à différents âges postnataux et interagit avec les circuits sous-corticaux pour former des modules distincts.¹³ Dans les années 1980, un modèle de la fonction visuelle a été proposé. Il comprenait des *courants dorsaux* et *ventraux*, deux différentes *trajectoires corticales* censées protéger différentes informations visuelles. Alors que le courant dorsal est impliqué dans la localisation de « où » se situe un objet dans l'espace, avec le *lobe pariétal* comme point d'arrivée de cette trajectoire, le courant ventral et le lobe temporal sont sollicités pour définir « ce qu'est » l'objet en ce qui a trait à sa forme, sa couleur et la reconnaissance faciale.¹⁴ D'autres éléments en faveur de cette théorie sont provenus d'autres études sur les primates postulant que les réponses aux questions « où » et « quoi » sont largement sous le contrôle cortical, alors que les structures

sous-corticales sont principalement impliquées dans les actions « réflexes ».¹⁵ D'autres auteurs ont suggéré un autre modèle basé sur deux courants anatomiquement distincts, appelés *parvocellulaire* et *magnocellulaire*. Les deux courants, morphologiquement distincts au niveau de la cellule ganglionnaire et du noyau géniculé latéral se projettent vers différentes parties du cortex visuel principal, V1, et continuent dans les courants corticaux indépendants vers la zone spécifique à la couleur, V4, et vers la zone sélective de mouvement, V5. Alors que le système parvocellulaire est utilisé pour la vision des formes et des couleurs, le système magnocellulaire favorise la perception du mouvement et certains aspects de la vision stéréoscopique.^{16,17} Plus récemment, Milner et Goodale¹⁸ ont proposé une version actualisée de ces modèles suggérant qu'un courant, le ventral, est utilisé pour le traitement perceptuel, et l'autre, le dorsal, pour le contrôle des actions.

Alors que le courant ventral, contenant les zones spécialisées pour la perception des visages, est le système suggéré pour le traitement du « quoi », le courant dorsal, comportant les zones qui gèrent les mouvements oculaires et l'action d'atteindre et de saisir, est suggéré comme étant le système du « comment ». En d'autres termes, un système se consacre à décider ce que nous regardons et qui nous regardons, et l'autre décide des réponses appropriées et des actions à entreprendre.

Au cours des premiers mois de la vie, le système visuel se développe encore. De la naissance à la maturité complète, l'œil va jusqu'à tripler sa taille par rapport à celle à la naissance, et la plus grande partie de cette croissance est terminée vers l'âge de trois ans; un tiers de la croissance du diamètre de l'œil se produit durant la première année de la vie. Cette information fournit des indicateurs du développement normal de la vision chez les jeunes enfants de la naissance jusqu'à l'âge de trois ans et des conséquences relatives pour le fonctionnement du cerveau.

Chez les enfants prématurés (selon l'ampleur de la prématurité) : Il est possible que les paupières ne soient pas entièrement séparées; que l'iris ne se contracte pas ou ne se dilate pas; que le système de drainage de l'humeur aqueuse ne soit pas totalement fonctionnel; que la choroïde manque de pigment; que les vaisseaux sanguins de la rétine soient immatures; que les fibres du nerf optique ne soient pas myélinisées; il pourrait y avoir encore une membrane pupillaire et/ou un système hyaloïde. Implications fonctionnelles : Incapacité de contrôler la lumière qui entre dans l'œil, le système visuel n'est pas prêt à fonctionner.

À la naissance : Les pupilles ne sont pas encore capables de se dilater totalement; la courbure du cristallin est presque sphérique; la rétine (surtout la macule) n'est pas entièrement

développée; le nourrisson est modérément hypermétrope et a un certain degré d'astigmatisme. Implications fonctionnelles : Le nouveau-né a peu de capacités de fixation, une capacité très limitée de distinguer les couleurs, un champ visuel limité et une acuité visuelle estimée entre 20/200 et 20/400; étant donné les mécanismes principaux d'orientation sous-corticale, il y a une orientation limitée vers des cibles simples de la naissance jusqu'à l'âge de trois mois; il y a une préférence pour les motifs noirs et blancs et surtout pour les damiers et les motifs contenant des angles.

À l'âge de trois mois : Le contrôle cortical des mouvements oculaires et de la tête commence à rendre possible l'alternance de l'attention; les systèmes neuraux des courants ventraux et dorsaux commencent à contribuer ensemble au comportement visuel du nourrisson; les mouvements oculaires sont la plupart du temps coordonnés; l'attirance est vers des objets noirs et blancs et colorés (jaunes et rouges); le nourrisson est capable de jeter des regards à de plus petits objets (aussi petits que 2,5 cm, ou environ 1 pouce); l'attention visuelle et la recherche visuelle commencent; le nourrisson commence à associer les stimuli visuels à un événement (p. ex., le biberon et l'alimentation).

À l'âge de cinq-six mois : Le nourrisson est capable de regarder (examiner visuellement) un objet dans ses mains; le mouvement oculaire, bien que parfois non coordonné, se fait mieux; le nourrisson est visuellement conscient de l'environnement (« explore » visuellement), et peut facilement faire alterner son regard vers des choses proches puis lointaines; le nourrisson peut « étudier » visuellement des objets proches de lui et peut faire converger les yeux pour ce faire; il peut fixer à un mètre ou environ trois pieds; la coordination œil-main (l'atteinte) est généralement acquise à ce moment; le nourrisson peut être intéressé de regarder les objets qui tombent et fixe généralement le point où l'objet disparaît.

Entre six et neuf mois : L'acuité s'améliore rapidement (presque à un niveau de maturité); le nourrisson « explore » visuellement (examine des objets dans la main et regarde l'activité qui se déroule dans son environnement); peut transférer des objets d'une main à l'autre et peut s'intéresser aux motifs géométriques.

Entre neuf mois et un an : L'enfant peut repérer visuellement un petit (2-3 mm) objet situé à proximité; regarde les visages et tente d'imiter les expressions; cherche des objets cachés après avoir observé l'action qui consiste à « cacher »; est visuellement alerte aux nouvelles personnes, nouveaux objets et nouvel environnement; peut différencier les personnes connues des personnes

inconnues; la vision encourage et contrôle le mouvement vers l'objet désiré.

À deux ans : La myélinisation du nerf optique est achevée; il y a une orientation verticale (droite); toutes les habiletés optiques se font facilement et sont bien coordonnées; l'acuité est de 20/20 à 20/30 (normale); l'enfant peut imiter les mouvements, assortir les mêmes objets en fonction d'une simple propriété (couleur, forme) et désigner des images spécifiques dans un livre.

Entre deux et cinq ans : Les fonctions du cerveau de l'enfant sont caractérisées par des habiletés de traitement sensoriel de base proches de celles de l'adulte. Cependant, le développement ultérieur des mécanismes du cerveau permettant d'analyser des scènes visuelles complexes, des objets et des visages particuliers apparaîtront plus tard. Bien que la compréhension de base du monde social soit bonne, le développement de la capacité à prédire les intentions et les buts des autres continuera à se produire.

À trois ans : Le tissu de la rétine est mature; l'enfant peut correctement terminer un jeu d'encastrement (basé sur la mémoire visuelle), réaliser des casse-têtes simples, dessiner un cercle rudimentaire et mettre des chevilles de 2,5 cm (un pouce) dans des trous.

Entre cinq et sept ans : On sait que les fonctions de base des zones sensorielles précoces du cortex ont complété leur développement; cependant, le développement fonctionnel des substrats du cerveau pour la perception de scènes visuelles complexes prend plus de temps. Ces changements impliquent une myélinisation continue des connexions et des changements de densité des synapses dans le cortex préfrontal. Particulièrement, il y a une accélération de la croissance des synapses suivie d'une période d'élagage vers l'âge de la puberté.

Conclusions

La contribution du développement du système périphérique (rétinal) dans l'émergence des fonctions visuelles de base n'explique que partiellement les améliorations du comportement visuel, ce qui indique que les changements du cerveau sont eux aussi importants.

Nous pouvons conclure que l'expérience sensorielle du monde extérieur peut influencer la façon dont le cerveau établit des connexions après la naissance; l'expérience visuelle est essentielle pour que la vision de l'enfant se développe normalement—sous le principe de « utilisez-le sous peine de le perdre »; et le traitement des maladies de l'œil communes chez l'enfant devrait commencer bien plus tôt que ne le préconise la pratique habituelle.

Références:

1. Turkewitz G, Kenny PA. Limitations on input as a basis for neural organization and perceptual development: a preliminary theoretical statement. *Developmental Psychobiology* 1982;15(4):357-368.
2. Banks MS, Geisler WS, Bennett PJ. The physical limits of grating visibility. *Vision Research* 1987;27(11):1915-1924.
3. Pelli DG. The quantum efficiency of vision. In: Blakemore C, ed. *Vision: Coding and efficiency*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990.
4. Brown AM. Intrinsic noise and infant visual performance. In: Simons K, ed. *Early visual development: normal and abnormal*. New York, NY: Oxford University Press, 1993.
5. Pelli DG, Farell B. Why use noise? *Journal of the Optical Society of America* 1999;16(3):647-653.
6. Atkinson J. *The developing visual brain*. New York, NY: Oxford University Press, 2000.
7. Allen D, Tyler CW, Norcia AM. Development of grating acuity and contrast sensitivity on the central and peripheral visual field of the human infant. *Vision Research* 1996;36(13):1945-1953.
8. Cioni G, Fazzi B, Ipata AE, Canapicchi R, van Hof-van Duin J. Correlation between cerebral visual impairment and magnetic resonance imaging in children with neonatal encephalopathy. *Developmental Medicine and Child Neurology* 1996;38(2):120-132.
9. Cajal SR. *Histologie du système nerveux de l'homme et des vertèbres*. Paris, France: A. Maloine, 1909.
10. Bronson G. The postnatal growth of visual capacity. *Child Development* 1974;45(4):873-890.
11. Dubowitz LM, Mushin J, De Vries L, Arden GB. Visual function in the newborn infant: is it cortically mediated? *Lancet* 1986;1(8490):1139-1141.
12. Zeki S. The distribution of wavelength and orientation selective cells in different areas of monkey visual cortex. *Proceedings of Royal Society of London Serie B* 1983;217(1209): 449-470.
13. Atkinson J. Human visual development over the first six months of life. A review and a hypothesis. *Human Neurobiology* 1984;3(2):61-74.
14. Ungerleider LG, Mishkin M. Two cortical visual systems. In: Ingle DJ, Goodale MA, Mansfield RJW, eds. *Analysis of visual behaviour*. Cambridge, MA: MIT Press; 1982:549-586.
15. Zeki S. *A vision of the brain*. Oxford, UK: Blackwell Scientific Publications; 1993.
16. Van Essen DC, Maunsell JHR. Hierarchical organization and functional streams in visual cortex. *Trends of Neuroscience* 1986;6(9):370-375.
17. Livingstone M, Hubel DH. Segregation of form, colour, movement and depth: anatomy, physiology and perception. *Science* 1988;240(4853):740-749.
18. Milner AD, Goodale MA. *The visual brain in action*. Oxford, UK : Oxford University Press, 1995.