

CERVEAU

L'attention et le développement précoce du cerveau

¹Kelly C. Roth, PhD Candidate, ²Stefania Conte, PhD, ¹Greg D. Reynolds, PhD, ²John E. Richards, PhD

¹Department of Psychology, University of Tennessee, États-Unis

²Department of Psychology, University of South Carolina, États-Unis

Septembre 2020, Éd. rév.

Introduction

L'attention sert plusieurs fonctions liées au traitement de l'information. Elle sélectionne certains événements ou objets dans l'environnement sur lesquels elle se centre et reste centrée pendant qu'elle traite l'information fournie par l'objet. De plus, pendant que l'attention est centrée sur un objet, elle n'est pas détournée vers des sources de distraction. Ces aspects de l'attention démontrent un changement développemental majeur tout au long de l'enfance.

Sujet

Chez les nourrissons, il est suggéré que l'attention change avec l'âge simultanément avec les changements des fonctions cérébrales. Les modèles sur l'attention dans le développement précoce sont basés sur des découvertes concernant le comportement des nourrissons humains, intégrés à des découvertes relatives aux changements des fonctions cérébrales sur les animaux

et sur les adultes, ou sur les populations cliniques.¹⁻⁷ Plusieurs de ces modèles sont influencés par les recherches de Schiller⁸ sur les systèmes de mouvement oculaire chez les primates non humains. Chez les nourrissons, de la naissance à l'âge de deux mois, il est supposé que les mouvements oculaires sont principalement commandés par le « système réflexif » largement influencé par les **aires primitives du cerveau** situées au-dessous du **cortex cérébral** (c.-à-d. **sous-corticales**). Ainsi, les mouvements oculaires et l'attention visuelle sont généralement réflexifs au début de la petite enfance. Entre l'âge de trois et six mois, le réseau d'orientation volontaire acquiert une maturité fonctionnelle. Ce réseau comprend des zones situées dans les **cortex pariétal** et **temporal** et des champs oculaires frontaux. Ce réseau est associé à la capacité à orienter volontairement l'attention visuelle d'un stimulus à un autre.^{9,11} Dès l'âge de six mois, le réseau de l'attention antérieure (ou le système de l'attention exécutive) devient fonctionnel au moment où les zones du **cortex préfrontal** et du **cortex cingulaire antérieur** commencent à jouer un rôle significatif dans le maintien de l'attention visuelle tout en inhibant le déplacement de l'intérêt porté vers les objets-distracteurs.

Problèmes

Traditionnellement, l'attention visuelle et le développement du cerveau des nourrissons ont été mesurés en utilisant le temps de regard et l'oculométrie (suivi des mouvements oculaires) pendant les « tâches repères ». Ce sont des tâches comportementales pour lesquelles les zones du cerveau impliquées ont été fermement démontrées, ainsi elles peuvent être utilisées pour étudier indirectement le développement du cerveau chez les nourrissons et les enfants.¹² À l'opposé, Richard et ses collaborateurs^{13,14} suggèrent que l'intégration des mesures physiologiques directes de l'activité cérébrale fournit un portrait plus complet du développement de l'attention. La plupart des principales approches de la mesure directe de l'activité corticale (p. ex., la tomographie par émission de positrons, l'imagerie par résonance magnétique fonctionnelle) ne peuvent être utilisées avec les nourrissons humains participants à l'étude pour des raisons éthiques ou pratiques. La spectroscopie proche infrarouge (SPIR) et l'électroencéphalogramme (EEG) peuvent tous deux mesurer les réponses des neurones lors des tâches cognitives chez les populations pédiatriques. En outre, les méthodes de localisation des sources nous permettent de reconstruire les générateurs neuronaux de l'activité enregistrée sur le cuir chevelu. Nous décrivons comment il est possible d'appliquer ces techniques pour suivre le développement de l'activité du cerveau chez le nourrisson.

Contexte de la recherche

L'attention du nourrisson est mesurée en laboratoire en fonction du temps passé à regarder, du rythme cardiaque et d'électroencéphalogrammes (EEG).¹⁵⁻¹⁸ Le rythme cardiaque du nourrisson montre un ralentissement soutenu pendant les périodes d'attention déclenché par l'activité dans le tronc cérébral.¹⁹ L'EEG mesure l'activité électrique produite dans le cerveau à l'aide d'électrodes posées sur le cuir chevelu. Les **potentiels évoqués** (PE) sont des changements au niveau de l'EEG apparaissant en réponse à un événement ou une tâche spécifique dans une fenêtre temporelle fixe (« time-locked », en anglais). Il est possible d'utiliser des algorithmes de localisation des sources afin de déterminer quelles zones du cerveau sont les sources probables de l'activité électrique sur l'EEG/PE ou de la réponse signal dépendant du taux d'oxygénation du sang (signal BOLD pour « *blood oxygenation-level dependent signal* ») sur la SPIR, mesurée sur le cuir chevelu.^{16-18,20} Cette approche peut fournir une mesure plus directe de l'activité cérébrale du nourrisson impliquée dans l'attention.

Questions clés pour la recherche

Les questions clés pour la recherche dans ce domaine sont : Quelles sont les zones du cerveau impliquées dans l'attention des nourrissons? Ces zones changent-elles au cours du développement des nourrissons? Et est-ce que les mesures **électrophysiologiques** de l'attention correspondent aux mesures comportementales de l'attention? En fin de compte, toutes ces questions sont liées à la nécessité d'en apprendre davantage sur les relations entre le cerveau et le comportement chez les nourrissons en ciblant le domaine suscitant un intérêt croissant : les mesures neurophysiologiques directes.

Récents résultats de recherche

Dans le cadre de la recherche sur les PE chez les nourrissons, une onde négative sur les régions centrales (appelée Nc) est plus active après des stimuli fondamentaux et probablement liée à l'attention.^{15,21,22} Reynolds et Richards¹⁶ ont découvert que les zones du cerveau impliquées dans la composante Nc étaient situées dans le cortex préfrontal et dans le cingulum antérieur. Souvenons-nous que ces zones sont associées au système de l'attention exécutive. La composante Nc augmente en amplitude avec l'âge, ce qui indique une augmentation de l'activité liée à l'attention dans le cortex préfrontal pendant la petite enfance.^{15,23,24} Ce parallèle a augmenté le contrôle volontaire de l'attention, ce qui démontre que la composante Nc peut servir à indexer l'engagement de l'attention dans le cerveau.²⁵ De manière générale, les nourrissons préfèrent les nouveaux stimuli,²⁶ ce qui étaye l'augmentation de la durée de la fixation du regard et des

changements d'orientation de la tête vers les visages inconnus par rapport aux visages familiers.²⁷ Avec la répétition du stimulus, la composante Nc adopte une baisse d'amplitude.²⁸ Par exemple, les nourrissons habitués à une catégorie de visages présentent une amplitude supérieure de la composante Nc face aux nouveaux visages par rapport aux visages familiers.²⁹ Cette sensibilité aux visages est liée aux états de l'attention définis par la fréquence cardiaque. Les nourrissons affichent une amplitude de la composante Nc plus large lors des périodes d'attention définies par la fréquence cardiaque lorsqu'ils regardent des visages, comparativement à des objets. De même, l'amplitude globale de leur composante Nc est plus large dans les états attentifs par rapport aux états inattentifs.^{24,30} Dans l'ensemble, ces résultats montrent une certaine constance entre les corrélations aux niveaux comportemental, de la fréquence cardiaque et des neurones (à savoir les PE et les sources) de l'attention du nourrisson. Récemment, l'analyse des sources par EEG a été appliquée à l'étude des différents mécanismes attentionnels³¹⁻³³ et au traitement des traits du visage^{24,30} et du langage,^{34,35} suggérant l'importance de cette technique d'imagerie comme moyen d'étude du développement neural.

Lacunes de la recherche

Bien que l'application de l'analyse des sources des données des PE du nourrisson représente une étape majeure de la mesure de l'activité du cerveau liée à l'attention, il y a encore beaucoup de place au progrès. Les modèles d'analyse des sources mis au point pour les populations pédiatriques ont gagné en précision grâce à la description réaliste de l'anatomie de la tête fournie par l'IRM structurale. Les modèles d'IRM adaptés à l'âge nécessaires aux études d'analyse précise des sources³⁶ sont disponibles dans la Neurodevelopmental MRI Database (base de données neurodéveloppementales par IRM).³⁷ Ces modèles ont permis de reconstruire efficacement les générateurs neuronaux des signaux obtenus tant par EEG que par SPIR lors des tâches attentionnelles.^{16,18,31-33,38} D'autres applications de cette approche doivent être déployées pour mieux comprendre les changements inhérents au développement au niveau de l'attention. De plus, d'autres progrès doivent être faits en ce qui a trait à la conception de nouvelles procédures pour mesurer simultanément les corrélats comportementaux et neuronaux de l'attention du nourrisson. À moins de combler ces lacunes, nos connaissances sur l'activité cérébrale du nourrisson ainsi que les relations entre le cerveau et le comportement continueront d'être contraintes par les limites méthodologiques.

Conclusions

L'histoire de la recherche comportementale sur le développement de l'attention pendant la petite enfance est abondante. De plus, plusieurs scientifiques qui travaillent dans ce domaine ont proposé des modèles de développement du cerveau du nourrisson, intégrant les résultats comportementaux des recherches sur les nourrissons à celles qui portent sur le développement du cerveau chez les animaux et les adultes.¹⁻⁷ Bien que plusieurs des modèles puissent décrire adéquatement la progression du développement du cerveau du nourrisson en rapport avec l'attention, pour le moment, les contraintes méthodologiques ne permettent pas de les tester. Cependant, il y a eu des progrès majeurs et nous savons maintenant qu'il y a une cohérence dans les corrélations entre les mesures du comportement, du rythme cardiaque et de l'activité électrophysiologique utilisées pour mesurer l'attention chez le nourrisson.^{15,17} Nous avons franchi une première étape en identifiant les zones du cerveau liées au développement cognitif en démontrant que les zones du cortex préfrontal et le cingulum antérieur sont impliqués dans l'attention du nourrisson.^{16-18,30,31,33} Des modèles ont également été mis au point chez le nourrisson, nous permettant de basculer de l'exploitation des modèles chez l'adulte à l'interprétation des données acquises chez le nourrisson.³⁷ Les nouvelles études peuvent être consacrées à certaines spécificités, comme la variabilité entre les individus et les populations neurodivergentes, maintenant que nous avons établi une structure solide.³⁹ Nous sommes confiants que le progrès constant en recherche sur l'attention et le développement du cerveau du nourrisson se poursuivra.

Implications

Une des implications majeures de la recherche sur l'attention chez le nourrisson est liée à un trouble du déficit de l'attention avec ou sans hyperactivité (TDAH). Il est actuellement estimé que ce trouble affecte environ 10 % des enfants d'âge scolaire.⁴⁰ Les symptômes du TDAH incluent un faible contrôle de l'attention, de l'inattention, de l'hyperactivité, un faible contrôle des impulsions, et des problèmes de gestion du comportement. Les données probantes indiquent que l'aspect de l'inattention du TDAH pourrait être lié à des déficits du réseau d'orientation volontaire, alors que l'aspect hyperactif du TDAH serait lié au piètre fonctionnement du système de l'attention exécutive.^{41,42} Les enfants atteints de TDAH présentent un retard dans le développement de l'épaisseur du cortex⁴² préfrontal, ainsi que des altérations⁴² de l'attention exécutive et des réseaux du mode par défaut.⁴³ Ces systèmes impliquent le cortex préfrontal et le cingulum antérieur, des zones identifiées comme étant des sources de l'activité corticale liée à l'attention dans notre recherche sur l'attention du nourrisson.^{16,17} Le TDAH n'est généralement pas apparent chez les

enfants affectés avant les années scolaires. Ces enfants peuvent être référés à des professionnels de la santé parce qu'ils ont des problèmes à contrôler leur comportement en classe. Il serait idéal de disposer d'une méthode de dépistage plus précoce pour les enfants à risque de développer le TDAH. La promesse qu'offre la recherche de base sur l'attention et le développement du cerveau chez le nourrisson est l'identification potentielle de modèles atypiques de développement du nourrisson qui pourraient prédire l'apparition subséquente du TDAH.

Références

1. Bronson GW. The growth of visual capacity: Evidence from infant scanning patterns. *Advances in Infancy Research*. 1997;11:109-142.
2. Colombo J. On the neural mechanisms underlying developmental and individual differences in visual fixation in infancy: Two hypotheses. *Developmental Review*. 1995;15(2):97-135. doi:10.1006/drev.1995.1005
3. Hood BM. Shifts of visual attention in the human infant: A neuroscientific approach. In: Rovee-Collier C, Lipsitt LP. *Advances in infancy research*. Vol 9. Norwood, N.J. : ABLEX Pub. Corp.;1995:163-216.
4. Johnson MH. Cortical maturation and the development of visual attention in early infancy. *Journal of Cognitive Neuroscience* . 1990;2(2):81-95. doi:10.1162/jocn.1990.2.2.81
5. Maurer D, Lewis TL. Overt orienting toward peripheral stimuli: Normal development and underlying mechanisms. In: Richards JE, ed. *Cognitive neuroscience of attention: A developmental perspective*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Press; 1998:51-102.
6. Posner MI. Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 1980;32(1):3-25. doi:10.1080/00335558008248231
7. Richards JE. Development of attentional systems. In: De Haan M, Johnson M, eds. *The cognitive neuroscience of development*. New York, NY: Psychology Press; 2002.
8. Schiller PH. A model for the generation of visually guided saccadic eye movements. In: Rose D, Dobson VG, eds. *Models of the visual cortex*. Chichester, NY: John Wiley; 1985:62-70.
9. Posner MI. Attention in cognitive neuroscience: an overview. In: Gazzaniga MS, ed. *Cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press; 1995:615-624.
10. Posner MI, Petersen SE. The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*. 1990;13(1):25-42. doi:10.1146/annurev.ne.13.030190.000325
11. Petersen SE, Posner MI. The attention system of the human brain: 20 years after. *Annual Review of Neuroscience*. 2012;35(1):73-89. doi:10.1146/annurev-neuro-062111-150525
12. Richards JE. The development of visual attention and the brain. In: de Haan M, Johnson MH, eds. *The cognitive neuroscience of development*. New York, NY: Psychology Press; 2003:73-98.
13. Richards JE. Attention in the brain and early infancy. In: Johnson SP, ed. *Neoconstructivist: The new science of cognitive development*. New York: Oxford University Press; 2010:3-31.
14. Richards JE, Hunter SK. Testing neural models of the development of infant visual attention. *Developmental Psychobiology*. 2002;40(3):226-236. doi:10.1002/dev.10029
15. Richards JE. Attention affects the recognition of briefly presented visual stimuli in infants: An ERP study. *Developmental Science*. 2003;6(3):312-328. doi:10.1111/1467-7687.00287

16. Reynolds GD, Richards JE. Familiarization, attention, and recognition memory in infancy : an event-related potential and cortical source localization study. *Developmental Psychology*. 2005;41(4):598-615. doi:10.1037/0012-1649.41.4.598
17. Reynolds GD, Courage ML, Richards JE. Infant attention and visual preferences: converging evidence from behavior, event-related potentials, and cortical source localization. *Developmental Psychology*. 2010;46(4):886-904. doi:10.1037/a0019670
18. Reynolds GD, Richards JE. Cortical source localization of infant cognition. *Developmental Neuropsychology*. 2009;34(3):312-329. doi:10.1080/87565640902801890
19. Richards JE, Casey BJ. Development of sustained visual attention in the human infant. In: Campbell BA, Hayne H, Richardson R, eds. *Attention and information processing in infants and adults: Perspectives from human and animal research*. Hillsdale, NJ:Lawrence Erlbaum; 1992:30-60.
20. Lloyd-Fox S, Richards JE, Blasi A, Murphy DGM, Elwell CE, Johnson MH. Coregistering functional near-infrared spectroscopy with underlying cortical areas in infants. *Neurophotonics*. 2014;1(2):025006. doi:10.1117/1.nph.1.2.025006
21. Courchesne E, Ganz L, Norcia A. Event-related brain potentials to human faces in infants. *Child Development*. 1981;52(3):804-811. doi:10.2307/1129080
22. De Haan M, Nelson CA. Recognition of the mother's face by six-month-old infants: a neurobehavioral study. *Child Development*. 1997;68(2):187-210. doi:10.1111/j.1467-8624.1997.tb01935.x
23. Webb SJ, Long JD, Nelson CA. A longitudinal investigation of visual event-related potentials in the first year of life. *Developmental Science*. 2005;8(6):605-616. doi:10.1111/j.1467-7687.2005.00452.x
24. Conte S, Richards JE, Guy MW, Xie W, Roberts JE. Face-sensitive brain responses in the first year of life. *Neuroimage*. 2020;211:116602. doi:10.1016/j.neuroimage.2020.116602
25. Courage ML, Reynolds GD, Richards JE. Infants' attention to patterned stimuli: Developmental change from 3 to 12 months of age. *Child Development*. 2006;77(3):680-695. doi:10.1111/j.1467-8624.2006.00897.x
26. Fantz RL. Visual experience in infants: Decreased attention to familiar patterns relative to novel ones. *Science*. 1964;146(3644):668-670. doi:10.1126/science.146.3644.668
27. Reynolds GD, Roth KC. The development of attentional biases for faces in infancy: A developmental systems perspective. *Frontiers in Psychology*. 2018;9:222. doi:10.3389/fpsyg.2018.00222
28. Reynolds GD, Richards JE. Infant visual attention and stimulus repetition effects on object recognition. *Child Development*. 2019;90(4):1027-1042. doi:10.1111/cdev.12982
29. Dixon KC, Reynolds GD, Romano AC, Roth KC, Stumpe AL, Guy MW, Mosteller SM. Neural correlates of individuation and categorization of other-species faces in infancy. *Neuropsychologia*. 2019;126:27-35. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2017.09.037
30. Guy MW, Zieber N, Richards JE. The cortical development of specialized face processing in infancy. *Child Development*. 2016;87(5):1581-1600. doi:10.1111/cdev.12543
31. Xie W, Mallin BM, Richards JE. Development of brain functional connectivity and its relation to infant sustained attention in the first year of life. *Developmental Science*. 2019;22(1):e12703. doi:10.1111/desc.12703
32. Xie W, Richards JE. The relation between infant covert orienting, sustained attention and brain activity. *Brain Topography*. 2017;30(2):198-219. doi:10.1007/s10548-016-0505-3
33. Xie W, Mallin BM, Richards JE. Development of infant sustained attention and its relation to EEG oscillations: an EEG and cortical source analysis study. *Developmental Science*. 2018;21(3):e12562. doi:10.1111/desc.12562
34. Hämäläinen JA, Ortiz-Mantilla S, Benasich AA. Source localization of event-related potentials to pitch change mapped onto age-appropriate MRIs at 6months of age. *Neuroimage*. 2011;54(3):1910-1918. doi:10.1016/j.neuroimage.2010.10.016

35. Ortiz-Mantilla S, Hämäläinen JA, Benasich AA. Time course of ERP generators to syllables in infants: A source localization study using age-appropriate brain templates. *Neuroimage*. 2012;59(4):3275-3287. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.11.048
36. Richards JE. *Realistic cortical source models of ERP*. Unpublished manuscript. 2006.
37. Richards JE, Xie W. Brains for all the ages: Structural neurodevelopment in infants and children from a life-span perspective. *Advances in Child Development and Behavior*. 2015;48::1-52. doi:10.1016/bs.acdb.2014.11.001
38. Bulgarelli C, de Klerk CCJM, Richards JE, Southgate V, Hamilton A, Blasi A. The developmental trajectory of fronto-temporoparietal connectivity as a proxy of the default mode network: a longitudinal fNIRS investigation. *Human Brain Mapping*. 2020;41(10):2717-2740. doi:10.1002/hbm.24974
39. Noreika V, Georgieva S, Wass S, Leong V. 14 challenges and their solutions for conducting social neuroscience and longitudinal EEG research with infants. *Infant Behavior and Development*. 2020;58:101393. doi:10.1016/j.infbeh.2019.101393
40. Danielson ML, Bitsko RH, Ghandour RM, Holbrook JR, Kogan MD, Blumberg SJ. Prevalence of parent-reported adhd diagnosis and associated treatment among U.S. children and adolescents, 2016. *Journal of Clinical Child & Adolescent Psychology*. 2018;47(2):199-212. doi:10.1080/15374416.2017.1417860
41. Aman CJ, Roberts RJ, Pennington BF. A neuropsychological examination of the underlying deficit in attention deficit hyperactivity disorder: Frontal lobe versus right parietal lobe theories. *Developmental Psychology*. 1998;34(5):956-969. doi:10.1037/0012-1649.34.5.956
42. Shaw P, Eckstrand K, Sharp W, Blumenthal J, Lerch JP, Greenstein D, Clasen L, Evans A, Giedd J, Rapoport JL. Attention-deficit/hyperactivity disorder is characterized by a delay in cortical maturation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2007;104(49):19649-19654. doi:10.1073/pnas.0707741104
43. Posner J, Park C, Wang Z. Connecting the dots: A review of resting connectivity MRI studies in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Neuropsychology Review*. 2014;24(1):3-15. doi:10.1007/s11065-014-9251-z