

Enfance

revue trimestrielle • janvier - mars 1 | 2012

numéro thématique coordonné par
Jacqueline FAGARD

Le développement précoce des habiletés manuelles

Necplus

Le développement précoce des habiletés manuelles

Nadel, J. Avant-Propos : Si nos arrière-arrière-grand-mères	3
Fagard, J. Introduction : Développement manuel précoce et enjeux théoriques	5
Zoia, S., D'Ottavio, G., Blason, L., Biancotto, M., Bulgheroni, M., & Castiello, U. Développement de l'action planifiée chez le fœtus humain	9
O'Sullivan, L., Goubet, N., & Berthier, N. L'atteinte de l'objet chez l'enfant né prématuré	25
Streri, A. Grandeur et misères du système perceptif manuel du nourrisson	35
Corbetta, D., Guan, Y., & Williams, J. L. Une réévaluation du rôle de la vision dans le développement de la préhension chez le bébé	49
Kahrs, B.A., & Lockman, J. La continuité dans le développement de l'utilisation d'outils	61
Fagard, J., Rat-Fisher, L., & O'Regan, K. Comment le bébé accède-t-il à la notion d'outil ?	73
Esseily, R., & Fagard, J. Un bébé peut-il apprendre d'un autre bébé ? Apprentissage par observation d'une nouvelle habileté manuelle à 10 mois	85
Fagard, J. Aux origines de la préférence manuelle	97
von Hofsten, C. Afterword: Infants' explorative actions. An important aspect of early cognitive development	115
Jacqueline Nadel Hélène Gratiot-Alphandéry, cofondatrice d' <i>Enfance</i> avec Henri Wallon, nous a quittés à l'aube de ses 103 ans	123

Développement de l'action planifiée chez le fœtus humain

Stefania ZOIA¹, Giuseppina D'OTTAVIO², Laura BLASON¹,
Marina BIANCOTTO¹, Maria BULGHERONI³
et Umberto CASTIELLO⁴

RÉSUMÉ

À partir de quand un mouvement cesse-t-il d'être un réflexe pour acquérir les caractéristiques de l'action volontaire ? L'interaction dynamique entre l'être humain et son environnement est-elle déjà présente avant la naissance ? L'étude des mouvements fœtaux représente une occasion unique pour tenter de répondre à ces questions en observant l'évolution des mouvements des membres supérieurs. Durant la gestation il y a des différences dans la fréquence des mouvements dirigés vers les différentes parties de la tête, mais les mouvements de la main vers la bouche et les yeux semblent les plus fréquents. La présence de ces deux catégories de mouvements à différents stades de la gestation permet d'étudier si une intentionnalité dans le mouvement des membres supérieurs apparaît à un certain moment de la période fœtale. Cet objectif a été suivi dans deux recherches. La première a pris en considération 8 grossesses monofœtales et la deuxième 5 grossesses gémellaires. Dans la première recherche, les mouvements fœtaux de la main ont été enregistrés à la 14^e, 18^e et 22^e semaine gestationnelle, alors que dans la deuxième les mouvements n'ont pu être enregistrés qu'à la 14^e et 18^e semaine. L'enregistrement échographique pour chaque âge gestationnel a été de 20 minutes. Il a été analysé en utilisant un logiciel développé spécialement pour extraire, *off-line*, les paramètres cinématiques : temps de décélération et temps de mouvement. Les résultats suggèrent que les fœtus, de grossesses simples ou gémellaires, peuvent ajuster le mouvement de la main en fonction de la cible à atteindre, sans doute en utilisant les différentes sensations de leurs organes sensoriels. Il semble donc que le fœtus « reconnaisse » que la bouche est une cible moins délicate que ses yeux et que donc il peut s'en approcher plus rapidement que lors d'un mouvement vers l'œil. En outre l'analyse temporelle

¹Struttura Complessa di Neuropsichiatria Infantile e Neurologia Pediatrica, IRCCS Burlo Garofolo, Istituto per la salute infantile e materna, Trieste, Italia.

²Struttura Complessa di Diagnosi Prenatale, Dipartimento di Ostetricia e Ginecologia, IRCCS Burlo Garofolo, Istituto per la salute infantile e materna, Trieste, Italia.

³Ab.Acus, Compagnia di Tecnologia Assistenziale e Biomedica, Milano, Italia.

⁴Dipartimento di Psicologia Generale, Università di Padova, Padova, Italia.

Correspondance : Istituto per l'Infanzia, IRCCS Burlo Garofolo, Department of Pediatrics, Child Neurology and Psychiatry Unit, via Dell'Istria, 65/1, Trieste 34137, Italy. Fax number : +39 040 3785544 ; Email : zoia@burlo.trieste.it.

des mouvements de la main vers le jumeau permet de vérifier que le contact vers le jumeau n'est pas accidentel et seulement dû à la proximité spatiale, mais volontairement dirigé vers lui.

Ces données préliminaires mettent en évidence la présence dans les mouvements des membres supérieurs du fœtus d'une forme primitive d'action intentionnelle, avec un pattern cinématique qui varie en fonction de l'objectif de l'action.

MOTS CLÉS : MOUVEMENTS D'ATTEINTE, MOUVEMENTS FŒTAUX, ANALYSE CINÉMATIQUE, DÉVELOPPEMENT PRÉCOCE

ABSTRACT

Kinematic data on foetal reaching as evidence for an early development of action planning

How early does a reaching movement become an action and cease to be a reaction? Does the dynamic interaction between human beings and environment exist only after birth or could it be present before? The study of the evolution of foetal movements provides a unique opportunity to address these questions. During the gestational period, the frequency of arm movements towards different parts of the head changes, however, mouth and eyes remain the most frequent targets for foetal upper limb movements. The study of foetal hand movements towards the mouth and the eye may help to determine if these two types of movements are reflex or not haphazard at different gestational ages, so two different longitudinal studies were carried out to pursue this aim. The first involved eight single fetuses while the second included five twin fetuses. In the first research, hand movements directed towards the mouth and the eyes were recorded at 14, 18 and 22 weeks of gestation, while in the second study (twin pregnancies) movements were analyzed at 14 and 18 weeks of gestation. At each gestational age, a twenty-min four-dimensional-ultrasound recording (4D-US) was collected and then analyzed, using in-house software developed to obtain two kinematic parameters: the deceleration time and the movement time. Applying this methodology, an off-line kinematic analysis was performed. The results suggested that fetuses, single or twins, could use information about the different sensations obtained by target organs to adjust the approaching hand. At certain gestational period, the movement time and deceleration time change in relationship to the nature of the target. This result seems to suggest that foetuses "know" that their mouth is bigger and less delicate than their eye. Furthermore, twins also showed hand movements directly to the co-twin, which allowed to verify whether intra-pair contact was an accidental outcome due to spatial proximity rather than the result of a primitive motor planning ability related to the temporal characteristics of hand movements. These preliminary data offer evidence of a primitive predictive process already operating in human foetuses, in which an environment-specific maturation gives way to "anticipated" movements related to the nature of the target.

KEY-WORDS: REACHING, FOETAL MOVEMENTS, KINEMATIC ANALYSIS, EARLY DEVELOPMENT

INTRODUCTION

Les premiers mouvements fœtaux apparaissent aux alentours de la 7^e semaine de gestation (SG) (de Vries et coll., 1985), comme le montre l'analyse des enregistrements échographiques *on-line* (Patrick et coll. 1982) et *off-line* (de Vries et coll. 1988). Nous avons centré notre étude sur les mouvements de la main dirigés vers la tête, en distinguant les mouvements vers la bouche, les yeux, les oreilles, le front, le menton, le nez et les joues dont la fréquence varie au cours du développement fœtal, en particulier durant la période qui va de la 14^e à la 22^e SG. Les mouvements vers la bouche et vers l'œil sont toujours les plus fréquents par rapport aux autres parties du visage (Tableau 1).

Tableau 1.

Zones des mouvements des membres supérieurs vers le visage à 14, 18 et 22 SG et leur fréquence en %

	14 ^e	18 ^e	22 ^e
Bouche	28 %	25 %	29 %
Œil	19 %	19 %	24 %
Oreille	16 %	9 %	8 %
Joue	18 %	13 %	12 %
Front	7 %	15 %	4 %
Nez	2 %	13 %	19 %
Menton	10 %	6 %	4 %

On sait très peu de chose sur la manière dont ces mouvements fœtaux deviennent planifiés et exécutés au cours de développement prénatal. L'étude de Myowa-Yamakoshi et Takeshita (2006) a fourni une précieuse documentation en enregistrant les mouvements des bras et des mains vers le visage de 27 fœtus entre la 19^e et la 35^e SG. Les résultats mettent en évidence que la moitié des mouvements sont dirigés, directement ou indirectement, vers la bouche, mais le plus intéressant est que les fœtus de 22 SG ouvrent la bouche avant le contact avec la main. Ceci indique la présence d'un comportement d'anticipation, et suggère que les fœtus humains ont une représentation primitive de la façon dont ils doivent bouger leur main pour entrer en contact avec leur bouche, c'est-à-dire qu'ils possèdent un contrôle moteur étonnamment sophistiqué déjà avant la naissance.

Durant la période postnatale, de nombreuses données témoignent que les mouvements durant les deux premières années de vie sont de véritables actions dirigées vers un but et caractérisées par une flexibilité et un contrôle prospectif (par ex., von Hofsten, 2004). Une étude a montré qu'un nouveau-né est normalement capable d'atteindre un objet dès l'âge de trois ou quatre mois, mais qu'il peut le faire plus tôt s'il est stimulé (Bhat et coll., 2005). Bhat et Galloway (2006) ont vérifié qu'après une semaine d'expérience, un bébé bouge plus sa main quand il y a un jouet à atteindre. Ceci démontre que le

mouvement d'atteinte (*reaching*) est une action volontaire, qui n'apparaît pas comme *ready-made*, mais comme le résultat d'un processus dépendant autant de l'organisation du système nerveux que de l'interaction dynamique du bébé avec son environnement. En outre, les nouveaux-nés sont dotés d'une forme rudimentaire de coordination œil-main (von Hofsten, 1982) et peuvent contrôler volontairement les mouvements de leurs bras pour répondre aux contraintes du milieu extérieur (van der Meer, 1997). Il est donc évident que le nouveau-né sait accomplir une action en la planifiant et en la guidant visuellement sur la base d'une motivation propre intrinsèque. Par ailleurs, l'exécution comme la perception d'une action d'autrui sollicitent l'activité des neurones miroirs, soutenant l'idée que le cerveau se représente les mouvements en terme d'action, même au niveau des processus neuraux (Gallese et coll., 1996 ; Rizzolatti et Lupino, 2001). Chiron et coll. (1992) ont noté dès la naissance un flux sanguin plus important dans les cortex somatosensoriels et moteurs que dans les cortex associatifs. Chez le nouveau-né les premiers se révèlent plus matures que les seconds, et ils présentent un pattern d'activation similaire à celui de l'adulte. Ces données soutiennent l'idée d'une maturité de l'habileté motrice bien plus précoce que ce que l'on a cru jusqu'à présent.

Sur la base de ce qui a été dit précédemment, il est donc permis de se demander à partir de quand un mouvement d'atteinte devient une action et cesse d'être une simple réaction ou un simple mouvement spontané sans but.

Il est impossible de répondre à cette question sur la base des résultats fournis par les études précédemment citées, puisqu'ils se limitent à une description qualitative des caractéristiques des mouvements fœtaux. Les études du premier âge basées sur l'analyse cinématique sont fréquentes (parmi les premières, von Hofsten, 1979), alors qu'il n'y a pas de recherches identiques *in utero*. L'analyse cinématique a contribué de façon significative à la compréhension du développement de la planification et du contrôle des mouvements des membres supérieurs. En ce qui concerne la période postnatale, certaines études cinématiques se sont penchées sur la transition entre les premières tentatives de mouvements d'atteinte et l'apparition d'actes volontaires d'atteinte. Par exemple, Piek et Carman (1994) et Thelen (1979) ont montré que les patterns de mouvements, indépendamment de la présence ou non d'un objet, sont caractérisés par des unités multiples et que des changements caractéristiques dans l'organisation spatio-temporelle dans les semaines précèdent l'apparition d'un véritable mouvement d'atteinte. D'autres études (von Hofsten, 1982, 1984 ; Thelen, et coll., 1996 ; Bhat et coll., 2005 ; Bhat et Galloway, 2006 ; Craighero et coll., 2011) ont montré que le nombre des mouvements dirigés vers l'avant augmente si les nouveau-nés, même de quelques jours, voient un objet devant eux.

Dans les études présentées ici, nous avons observé le développement du mouvement d'atteinte chez le fœtus, en analysant si les fœtus modulent la vitesse de leurs mouvements de bras en fonction de la zone du visage vers laquelle ils dirigent leurs gestes, en d'autres termes s'ils planifient leurs gestes en fonction

de la cible. Pour vérifier s'il est possible de saisir l'émergence d'un tel contrôle spontané des mouvements des membres supérieurs chez le fœtus, nous avons cherché à observer si cette planification varie en fonction des différents âges gestationnels.

Nous faisons l'hypothèse que, dès la période fœtale, il serait possible d'observer un changement dans les mouvements fonctionnels du bras comparable à la transition observée en postnatal entre les mouvements de pré-atteinte et les mouvements d'atteinte (Bhat et coll., 2005 ; Bhat et Galloway, 2006 ; Lee et coll., 2011). Il s'agirait d'une maturation des mouvements fonctionnels liée à un environnement spécifique, l'utérus. Nous nous attendions donc à observer des patterns cinématiques distincts en fonction de la zone du visage atteinte, et pour vérifier cela, nous avons analysé deux types de mouvements : de la main vers la bouche et de la main vers l'œil. L'éventuelle présence d'une différence dans le profil cinématique de ces deux mouvements permettrait de soutenir l'idée que le contrôle moteur émerge avant la naissance.

ÉTUDE 1 « MOUVEMENTS DE LA MAIN D'UN FŒTUS »

Matériel et méthodes

Sujets

Huit futures mères ont participé à la recherche, après avoir signé un consentement écrit à la 12^e SG les engageant à se soumettre à trois échographies supplémentaires par rapport aux examens habituellement prévus de façon à nous permettre de suivre longitudinalement leur fœtus, 2 filles et 6 garçons (voir pour les détails, voir Zoia et coll., 2006). Il s'agissait de grossesses normales et la santé de la mère et celle du futur enfant ont été surveillées durant toute la durée de la grossesse. En outre, à chaque rendez-vous les futures mères ont été interviewées et on leur a demandé de remplir un questionnaire d'angoisse afin de relever la présence d'éventuels facteurs de stress. Les grossesses se sont passées normalement pour les 8 femmes.

Procédure

À la 14^e, 18^e et 22^e SG un enregistrement de 20 minutes des mouvements spontanés des membres supérieurs a été effectué par un examen échographique en 4D et par la mesure de la longueur humérale, utilisant les mêmes points de repère nécessaires pour l'application de l'analyse cinématique. Chaque enregistrement a été effectué dans l'après-midi, deux heures après le déjeuner, dans un environnement tranquille, évitant les agressions extérieures (bruit, lumière). Les femmes enceintes étaient en position semi-allongée sur la table d'examen. La sonde échographique était posée de manière à voir au mieux l'encadrement de tête, bras, main, thorax, et abdomen du fœtus. L'échographiste maintenait fermement la sonde pendant toute la durée de l'enregistrement. Pour l'enregistrement vidéo, on a utilisé l'échographie abdominale, avec un Voluson 730 Expert (compagnie GE Medical System) à une fréquence d'échantillonnage

de 4 Hz, meilleure condition pour le rapport qualité et volume de l'image. Les films ont été successivement analysés par deux observateurs indépendants, pour isoler chaque mouvement présent dans chaque enregistrement. Seuls les mouvements de la main à la bouche et à l'œil (Figure 1) ont été retenus. Ils ont été définis de la façon suivante : les doigts de la main viennent en contact avec la bouche (ou l'œil) et pendant deux images consécutives on n'observe aucun autre mouvement.

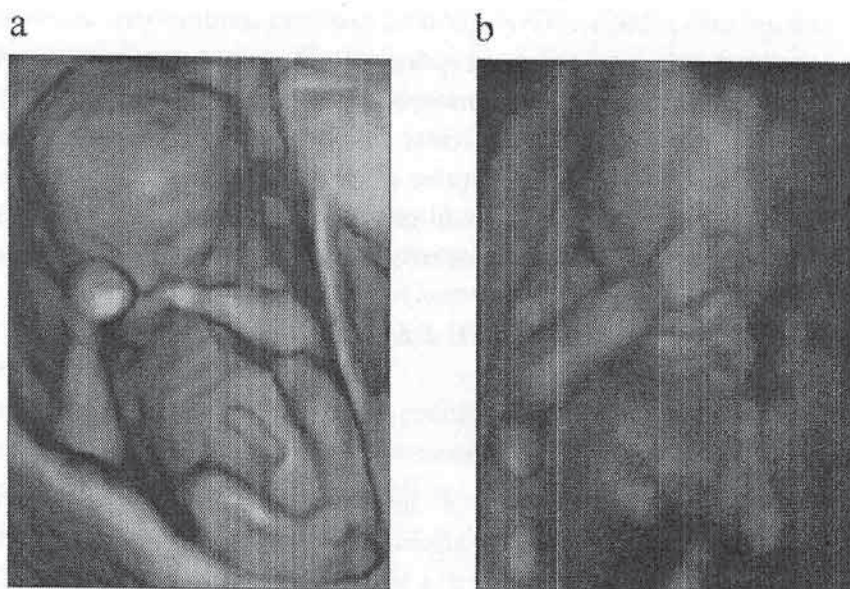


Figure 1.

a) Mouvement de la main vers la bouche et b) mouvement de la main vers l'œil.

Chacun des mouvements a été analysé grâce à un programme élaboré pour faire une analyse cinématique *off-line*. Seulement 30 % des mouvements pris en considération ont été analysés : ont été éliminés les mouvements débutant d'une position non visible ou non comprise dans l'aire en face du thorax (délimitée verticalement par la ligne des épaules à celle de l'ombilic, et horizontalement de la largeur maximum des épaules, Figure 2), ou bien lorsque la tête était tournée et que les yeux n'étaient pas clairement visibles. Le début et la fin de chaque mouvement ont été identifiés. En outre, nous avons considéré seulement les mouvements pendant lesquels la tête, les yeux, les épaules et le thorax étaient clairement visibles du début à la fin du mouvement. Pour l'analyse cinématique nous avons construit un système de références centré sur le fœtus.

Il était impossible de disposer d'un système de coordonnées de références absolument stable dans le temps, car la sonde échographique fournit un champ de vision qui change continuellement. Pour surmonter ce problème technique, nous avons rapporté tous les mouvements exécutés par le fœtus à un système de coordonnées centrées sur lui, dont l'origine était constituée du point moyen de la distance entre les épaules du fœtus.

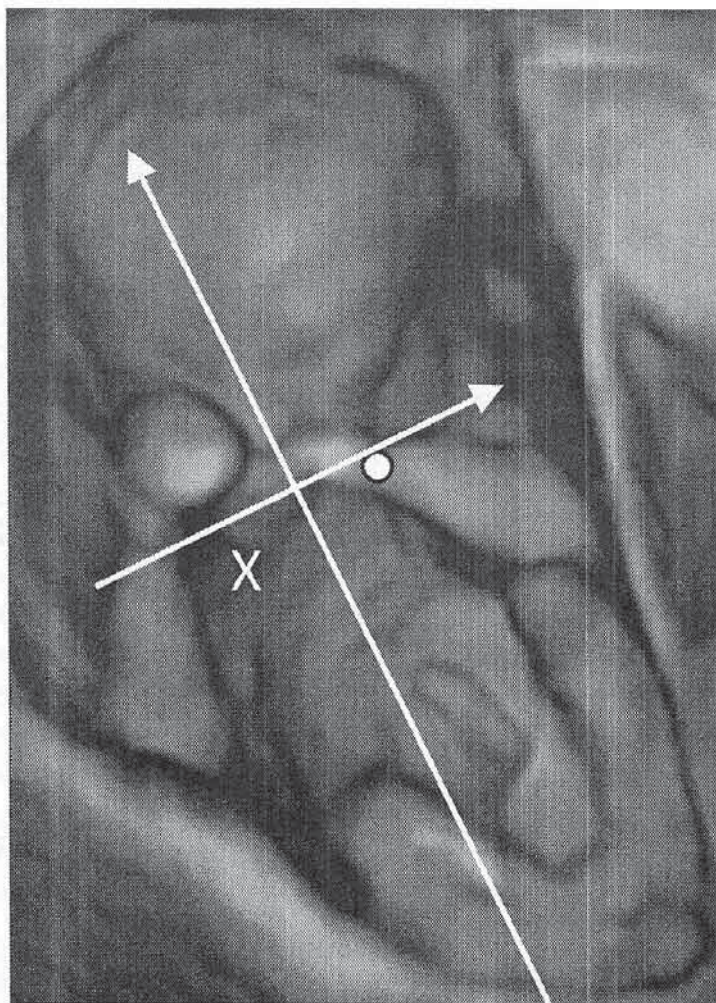


Figure 2.

Critères de sélection des mouvements enregistrés pour l'analyse cinématique *off-line* et position du marqueur sur le poignet du fœtus.

Nous avons ensuite attribué un marqueur au niveau du poignet (Figure 2) et suivi la trajectoire du mouvement image par image (durée d'une image : 100 ms) pour le mouvement dans son entier.

Le marqueur du poignet a été utilisé pour calculer la vitesse des mouvements vers la bouche ou vers l'œil : le début du mouvement correspondait au début de l'augmentation de la vitesse alors que la fin du mouvement était établie par l'absence de variation pendant au moins deux images (*frames*) consécutives. Les mesures cinématiques utilisées dans l'analyse statistique sont :

- la durée du mouvement (temps total entre début et fin du mouvement ; DM en ms)
- le pourcentage du temps de décélération (TD en %, calculé en rapportant le temps compris entre le pic de vitesse maximum et la fin du mouvement sur la durée totale de mouvement).

Résultats

Nous avons effectué une ANOVA sur les variables dépendantes DM et TD en % avec comme variables indépendantes « type de mouvement » (bouche et œil ; mesures répétées), et « âge de gestation » (14, 18 et 22 semaines). Pour chacune des mesures dépendantes il y a une interaction significative entre les variables « type de mouvement » et « âge de gestation » (DM : $F_{1,21} = 18,21$, $P < 0,0001$; TD en % : $F_{1,21} = 38,52$, $P < 0,0001$).

Les contrastes post-hoc ont été effectués en utilisant la correction Bonferroni pour comparaisons multiples. Les résultats ne mettent pas en évidence de différence significative entre les mouvements de la main vers la bouche et vers l'œil jusqu'à la 18^e SG. À ce stade, le DM et le TD en % sont identiques pour les deux types de mouvement (Figure 3 a et b).

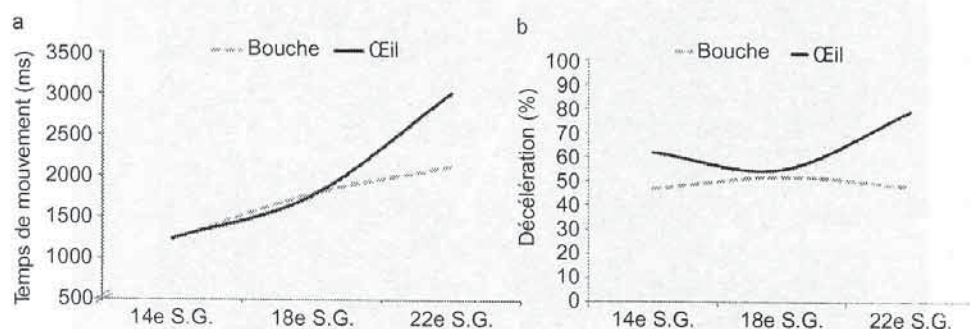


Figure 3.

a) Durée du mouvement (DM) et b) pourcentage de décélération (TD) des mouvements vers la bouche (ligne pointillée) et vers l'œil (ligne continue) à la 14^e, 18^e et 22^e SG.

Au contraire, à la 22^e SG, les deux mesures cinématiques montrent une augmentation significative pour les mouvements de la main vers l'œil par rapport à ceux vers la bouche ($p < 0,01$ tant pour DM que pour TD in %).

Les caractéristiques temporelles, comme le profil de vitesse, semblent donc varier en fonction de la propriété somatosensorielle de la cible. Ainsi les mouvements de la main dirigés vers une cible plus délicate sont faits avec un temps d'exécution plus long et une phase de décélération plus longue.

Discussion

Les résultats obtenus avec une analyse cinématique *off-line* mettent en évidence qu'après la 18^e semaine, les mouvements de la main ne sont plus fortuits et sont coordonnés. Avec la 22^e SG, le profil cinématique semble dépendre de l'objectif de l'action et suggérer une capacité primitive de planification. Avant cette date, on n'observe aucune différence entre les mouvements vers la bouche et vers l'œil. Par contre, à la 22^e SG, il semble que l'œil, en tant qu'objectif plus petit et délicat que la bouche, soit traité comme un objet-cible spécial, car les phases d'accélération et de décélération semblent planifiées en accord

avec la délicatesse de la cible. La relation fonctionnelle entre profil de vitesse et capacité de planification de l'action a été décrite dans de nombreuses études cinématiques avec nouveau-nés, enfants et adultes (par ex., von Hofsten, 1991 ; Thelen et coll., 1996 ; voir Castiello, 2005, pour une revue des études sur des sujets adultes). Pour la première fois, dans notre étude, nous avons utilisé une approche cinématique pour comprendre la dynamique des mouvements de la main du fœtus. En 1993, Sparling et Wilhelm rapportent des données qualitatives sur la fréquence d'apparition de ces mouvements. Ils suggèrent que les mouvements de la main du fœtus ne sont pas accidentels, mais dirigés vers un but. Toutefois, il manquait des données quantitatives pour confirmer cette hypothèse. Dans notre étude, en appliquant les principes d'analyse cinématique, nous avons essayé d'obtenir de telles données pour saisir les changements possibles dans le contrôle des mouvements. Nous nous attendions à ce qu'au cours de leur développement, les fœtus deviennent de plus en plus capables d'atteindre un objectif, mais le changement dans le profil cinématique pour la cible la plus petite et plus délicate (l'œil) observé à la 22^e SG est particulièrement frappant.

Les changements relatifs dans le DM et dans le TD en % soutiennent l'idée d'une forme d'apprentissage du mouvement fœtal d'atteinte et suggèrent la présence d'une forme primitive de capacité d'anticipation qui serait opérationnelle déjà chez le fœtus et grâce à laquelle les conséquences sensorielles d'un mouvement seraient anticipées et utilisées pour planifier l'action en fonction de la nature de la cible. À la 22^e SG, il semble que le fœtus soit en état d'utiliser les différentes sensations obtenues de la bouche et de l'œil pour pouvoir adapter la façon de bouger la main vers l'un ou l'autre des objectifs. Il semble qu'il sache « reconnaître » que la bouche est plus grande et moins délicate que l'œil. Nous pourrions penser que le fœtus de 22 semaines, en se servant d'une sensibilité somatosensorielle, a appris que l'œil est plus petit et délicat que la bouche. On pourrait faire l'hypothèse qu'un circuit neural se met en place pour inhiber les mouvements potentiellement dommageables pour le fœtus, puisque se mettre un doigt dans l'œil est douloureux. Toutefois, le risque d'endommager un organe dépend de nombreux facteurs qui incluent la masse de l'objet qui se rapproche de cet organe et sa vitesse. En considérant que la main du fœtus constitue une masse de petit poids qui voyage dans la viscosité du liquide amniotique, il est plausible de penser qu'il n'existe pas un risque réel. Par conséquent, on peut écarter l'hypothèse sur le développement d'un circuit neural en état d'inhiber les mouvements spontanés et d'opter pour celle de l'existence de processus primitifs de planification qui permettent d'allonger le temps de décélération, quand la cible est plus délicate, comme dans le cas de l'œil. D'autres études sont nécessaires pour confirmer cette hypothèse. Par ailleurs, nos données ressemblent par différents aspects à ce qui est décrit sur les mouvements d'atteinte chez les nouveau-nés (von Hofsten et Rönnqvist, 1988), chez les enfants (Bootsma et coll., 1994 ; Kuhtz-Buschbeck et coll., 1998a et b) et chez l'adulte (Marteniuk et coll., 1987 ; van de Kamp et coll., 2009). Les changements de la dimension de l'objet se voient

dans la qualité du contrôle exercé : quand un mouvement ne demande pas une grande précision, il est exécuté plus vite et est moins soigné.

En conclusion, cette première étude cinématique sur les mouvements de la main du fœtus suggère l'existence d'un contrôle moteur précoce, qui nous pousse à penser que les habilités psychomotrices du fœtus ont été jusqu'ici sous-estimées (Kisilevsky et Lowe, 1998 ; DiPietro, 2005 ; Groome et coll., 1999 ; Kostović et coll., 1995). Ceci dit, il est permis de se demander pourquoi de telles compétences ne sont pas maintenues après la naissance, mais ont besoin d'expériences pour s'exprimer à nouveau. Une explication possible est qu'il s'agit d'un processus de maturation basé sur une expérience acquise *in utero*, c'est-à-dire dans un environnement aquatique fondamentalement différent de celui qui entoure le nouveau-né après la naissance.

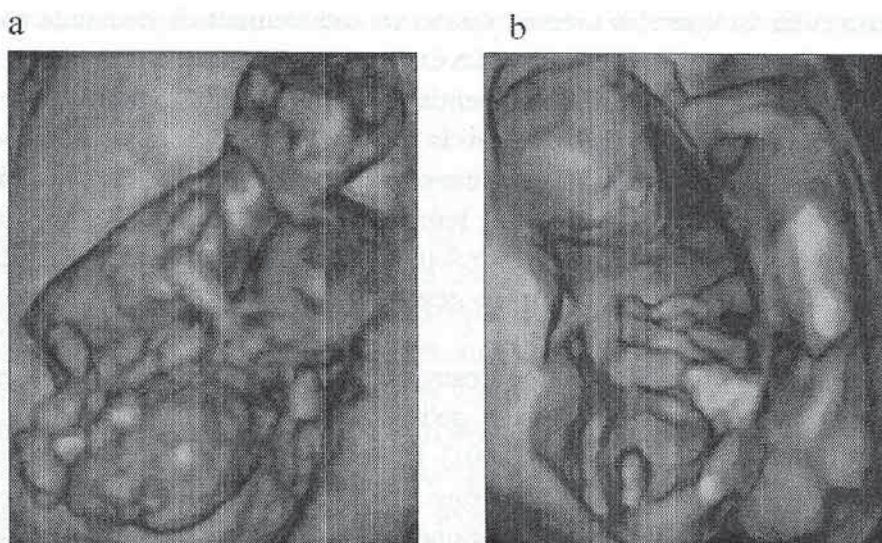
ÉTUDE 2 « MOUVEMENTS DE LA MAIN DE DEUX FŒTUS JUMEAUX »

L'occasion de suivre des grossesses gémellaires nous a offert l'opportunité d'une deuxième étude. L'objectif de l'étude a été de vérifier si la présence d'un second fœtus influence d'une certaine façon la typologie des mouvements de la main et modifie les expériences motrices du fœtus, entraînant un agenda de maturation différent par rapport à une grossesse monofœtale. Comme dans le premier travail, nous avons considéré deux types de mouvements, ceux de la main vers la bouche et ceux de la main vers l'œil. De plus nous avons aussi analysé les mouvements de la main vers l'autre jumeau, puisqu'on sait que les actions faites par des personnes qui interagissent, constituent les racines les plus profondes de l'interaction sociale (Knoblich et Sebanz, 2008). Nous avons cherché si les mouvements fœtaux dirigés vers soi présentaient un profil cinématique différent par rapport aux mouvements de nature sociale, c'est-à-dire dirigés vers le jumeau. Dans cette seconde étude, nous avons donc analysé en plus des deux mouvements de la main du fœtus vers sa propre bouche ou son œil, les mouvements dirigés vers la bouche ou l'œil de l'autre fœtus (Figure 4 a et b). L'analyse du profil cinématique de ce dernier type de mouvements nous fournit une opportunité unique pour vérifier si durant le développement fœtal les premiers signes d'interaction sociale émergent ou si au contraire, de tels mouvements sont totalement accidentels, c'est-à-dire dus à la proximité physique des deux jumeaux (Piontelli, 2010).

Matériel et méthodes

Sujets

Pour suivre les objectifs suscités, nous avons étudié cinq couples de jumeaux monozygotes (pour les détails de l'échantillonnage voir Castiello et coll., 2010). Les modalités de recrutement des participants sont les mêmes que pour l'étude 1. Nous avons utilisé la même procédure et les mêmes techniques. La seule différence concerne les périodes de gestation analysées, puisque dans le second travail, nous n'avons considéré que les 14^e et 18^e SG. Il n'a pas été possible de prendre en considération les mouvements de la 22^e semaine car le cône de vision de la sonde échographique ne permettait pas une vision des jumeaux et donc il

**Figure 4.**

Deux exemples de mouvements fœtaux de la main d'un des fœtus vers le jumeau :
a) vers la tête et b) vers le dos.

était impossible d'appliquer les critères nécessaires pour une analyse cinématique *off-line*.

Résultats

Les mouvements considérés sont ceux déjà étudiés dans le premier travail, avec en plus les mouvements dirigés vers le jumeau (dos ou tête). Nous avons calculé le pourcentage de mouvement pour chaque catégorie, de façon à en observer la répartition. Comme nous pouvons le voir dans le tableau 2, les mouvements vers la bouche et vers l'œil sont toujours les plus nombreux par rapport au reste du visage. Il est intéressant de remarquer qu'à la 14^e et à la 18^e SG, l'augmentation de ces deux types de mouvements est très modeste, sinon absente, alors que ceux vers le jumeau ont quadruplé.

Tableau 2.

Fréquence (en %) des mouvements des membres supérieurs vers les différentes parties du visage et vers le jumeau, à la 14^e et 18^e SG

	14 ^e	18 ^e
Mouvements vers soi		
Bouche	29 %	22 %
Œil	18 %	21 %
Oreille	12 %	6 %
Joue	11 %	6 %
Front	9 %	6 %
Nez	7 %	6 %
Menton	7 %	5 %
Mouvements vers l'autre vers le dos ou la tête du jumeau	7 %	28 %

Pour vérifier si le profil cinématique des mouvements s'adapte aux propriétés de la cible, nous avons conduit une ANOVA sur les variables dépendantes DM et TD en % avec les variables indépendantes « type de mouvement » (vers sa bouche, vers son œil ou vers le dos ou la tête du jumeau ; mesures répétées) et « âge de gestation » (14, 18 et 22 semaines). L'unique effet significatif qui émerge est la variable « type de mouvement » : tant pour DM ($F_{2,18} = 93,826$, $P < 0,001$) que pour TD en % ($F_{2,18} = 377,726$, $P < 0,001$). Nous n'avons pas trouvé d'effet significatif, ni pour le facteur « âge de gestation », ni pour l'interaction entre les deux variables ($P_s > 0,05$).

Plus précisément, le DM est significativement plus long pour les mouvements vers l'autre que pour ceux vers soi, qu'il s'agisse des mouvements vers l'œil ($P < 0,001$) ou vers la bouche ($P < 0,001$). En outre, même entre les mouvements vers soi le DM est significativement plus long pour atteindre l'œil que pour la bouche ($P < 0,001$). Des résultats identiques sont observés pour le TD en %, plus important pour les mouvements vers le jumeau par rapport aux mouvements vers soi ($P < 0,001$), que pour les mouvements tournés vers sa propre bouche ou son propre œil ($P < 0,001$).

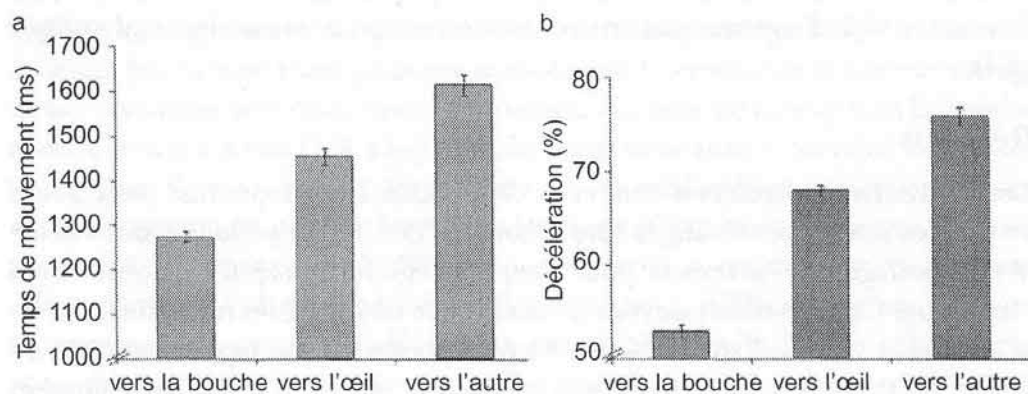


Figure 5.

a) Temps de mouvement (en ms) et b) pourcentage de décélération des mouvements vers la bouche, vers l'œil et vers l'autre (avec barres d'erreurs représentant les erreurs standards).

Discussion

Les résultats obtenus suggèrent une adaptation des mouvements aux caractéristiques de la cible, ce qui confirme les résultats de la première étude. Le profil cinématique des mouvements de la main vers l'œil est différent de ceux vers la bouche. Cette distinction apparaît seulement après la 22^e SG pour les grossesses monofœtales, alors que dans les grossesses gémellaires, elle apparaît dès la 14^e SG. On pourrait donc penser que la présence d'un jumeau qui bouge a facilité ou amorcé la tendance à agir en anticipant. Il est plus fréquent de trouver, à cette période de la gestation, des mouvements dirigés vers soi, plutôt que vers l'autre. Par contre, à la 18^e semaine, on observe une nette augmentation des

mouvements vers l'autre, ce qui pourrait montrer la précocité des premières formes d'interaction sociale.

CONCLUSIONS

Ces deux études mettent en évidence des mouvements fœtaux finalisés et non accidentels. Cela suggère l'existence d'une capacité primitive de planification de l'action, probablement favorisée aussi par un développement neural précoce des centres sensori-moteurs sous-corticaux, dont les connections forment le substrat pour les comportements dirigés vers un but. Toutefois, ces mouvements fœtaux sont principalement le fruit d'un processus de maturation fortement lié à l'environnement spécifique utérin. Cela expliquerait pourquoi, après la naissance, un temps d'adaptation est nécessaire avant de voir apparaître à nouveau les mouvements d'atteinte chez le nouveau-né. Ce délai est dû aux caractéristiques nouvelles de l'environnement extra-utérin.

Remerciements

Cette étude a été soutenue financièrement par le Ministère italien de la Santé et l'IRCCS materno-infantile Burlo Garofolo – ospedale di alta specializzazione e di rilievo nazionale per la salute della donna e del bambino – Trieste, Italia.

Nos sincères remerciements à toutes les mamans qui ont participé à ces études. Un grand merci à l'infirmière Danielle Buzzi pour nous avoir aidés durant les diverses phases de cette recherche.

BIBLIOGRAPHIE

- Bhat, A., & Galloway, J. C. (2006). Toy-oriented changes during early arm movements: Hand kinematics. *Infant Behavior and Development*, 29, 358-372.
- Bhat, A., Heathcock, J., & Galloway, J. C. (2005). Toy-oriented changes in hand and joint kinematics during the emergence of purposeful reaching. *Infant Behavior and Development*, 28, 445-465.
- Bootsma, R. J., Marteniuk, R. G., MacKenzie, C. L., & Zaal, F. T. J. M. (1994). The speed-accuracy trade-off in manual prehension: effects of movement amplitude, object size and object width on kinematic characteristics. *Experimental Brain Research*, 98, 535-541.
- Castiello, U., Becchio, C., Zoia, S., Nelini, C., Sartori, L., Blason, L., D'Ottavio, G., Bulgheroni, M., & Gallese, V. (2010). Wired to Be Social: The Ontogeny of Human Interaction. *PLoS ONE*, 5(10): e13199. doi:10.1371/journal.pone.0013199
- Castiello, U. (2005). The neuroscience of grasping. *Nature Reviews Neuroscience*, 6, 726-736.
- Chiron, C., Raynaud, C., Mazière, B., Zilbovicius, M., Laflamme, L., Masure, M. C., Dulac, O., Bourguignon, M., & Syrota, A. (1992). Changes in regional cerebral

- blood flow during brain maturation in children and adolescents. *The Journal of Nuclear Medicine*, 33, 696-703.
- Craighero, L., Leo, L., Umiltà, C., & Simion, F. (2011). Newborns' preference for goal-directed actions. *Cognition*, 120, 26-32.
- de Vries, J. I. P., Visser, G. H. A., & Prechtl, H. F. R. (1985). The emergence of fetal behavior: II. Quantitative aspects. *Early Human Development*, 12, 99-120.
- de Vries, J. I. P., Visser, G. H. A., & Prechtl, H. F. R. (1988). The emergence of fetal behaviour: III. Individual differences and consistencies. *Early Human Development*, 16, 85-103.
- DiPietro, J.A. (2005). Neurobehavioral assessment before birth. *Mental Retardation and Developmental Disabilities Research Reviews*, 11, 4-13.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119, 593-609.
- Groome, L.I., Mooney, D.M., Holland, S. B., Smith, L. A., Atterbury, J. L., & Dykman, R. A. (1999). Behavioral state affects heart rate response to low-intensity sound in human fetus. *Early Human Development*, 54, 39-54.
- Hofsten, C. von. (1979). Development of visually directed reaching: the approach phase. *Journal of Human Movement Studies*, 5, 160-178.
- Hofsten, C. von. (1982). Eye-hand coordination in the newborn. *Developmental Psychology*, 18, 450-461.
- Hofsten, C. von. (1984). Developmental changes in the organization of pre-reaching movements. *Developmental Psychology*, 20, 378-388.
- Hofsten, C. von. (1991) Structuring of early reaching movements, a longitudinal study. *Journal of Motor Behavior*, 23, 280-292.
- Hofsten, C. von. (2004). An action perspective on motor development. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 266-272.
- Hofsten, C. von., Rönqvist, L. (1988). Preparation for grasping an object: a developmental study. *Journal of Experimental Psychology (Human Perception)*, 14, 610-621.
- Kisilevsky, B. S., & Lowe, J. A. (1998). Human fetal behaviour, 100 years of study. *Developmental Review*, 18, 1-29.
- Knoblich, G., & Sebanz, N. (2008). Evolving intentions for social interaction: from entrainment to joint action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 363, 2021-2031.
- Kostović, I., Judaš, M., Petanjek, Z., & Šimić, G. (1995). Ontogenesis of goal-directed behavior, anatomo-functional considerations. *International Journal of Psychophysiology*, 19, 85-102.
- Kuhtz-Buschbeck, J. P., Stolze, H., Boczek-Funcke, A., Jöhnk, K., Heinrichs, H., & Illert, M. (1998a). Kinematic analysis of prehension movements in children. *Behavioral Brain Research*, 93, 131-141.
- Kuhtz-Buschbeck, J. P., Stolze, H., Jöhnk, K., Boczek-Funcke, A., & Illert, M. (1998b). Development of prehension movements in children: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, 122, 424-432.
- Lee, M. H., Ranganathan, R., & Newell, K. M. (2011). Changes in Object-Oriented Arm Movements that Precede the Transition to Goal-Directed Reaching in Infancy. *Developmental Psychobiology*, doi10.1002/dev.20541.

- Marteniuk, R. G., Mackenzie, C. L., Jeannerod, M., Athenes, S., & Dugas, C. (1987). Constraints on human arm movement trajectories. *Canadian Journal of Psychology*, 41(3), 365-378.
- Myowa-Yamakoshi, M., Takeshita, H. (2006). Do Human Fetuses Anticipate Self-Oriented Actions? A Study by Four-Dimensional (4D) Ultrasonography. *Infancy*, 10, 289-301.
- Patrick, J., Campbell, K., Carmichael, L., Natale, R., & Richardson, B. (1982). Patterns of gross fetal body movements over 24-h observation intervals during the last 10 weeks of pregnancy. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, 142, 363-371.
- Piek, J. P., & Carman, R. (1994). Developmental profiles of spontaneous movements in infants. *Early Human Development*, 39, 109-126.
- Piontelli, A. (2010). *Development of Normal Fetal Movements: The First 25 weeks of Gestation*. Milano: Springer Verlag.
- Rizzolatti, G., & Lupino, G. (2001). The Cortical Motor System. *Neuron*, 31(6), 889-901.
- Sparling, J. W., & Wilhelm, J. (1993). *Concepts in fetal movement research*. In: Sparling, J. W. (eds). *Concepts in fetal movement research*. Haworth Press, Binghamton, New York, 97-114.
- Thelen, E. (1979). Rhythmic stereotypies in normal human infants. *Animal Behaviour*, 27, 699-715.
- Thelen, E., Corbetta, D., & Spencer, J. P. (1996). Development of reaching during the first year: role of movement speed. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 22, 1059-1076.
- van de Kamp, C., Bongers, R. M., & Zaal, F. T. (2009). Effects of changing object size during prehension. *Journal of Motor Behavior*, 41(5), 427-35.
- van der Meer, A. L. (1997). Keeping the arm in the limelight: advanced visual control of arm movements in neonates. *European Journal of Paediatric Neurology*, 1(4), 103-8.
- Zoia, S., Blason, L., D'Ottavio, G., Bulgheroni, M., Pezzetta, E., Scabar, A., & Castiello, U. (2006). Evidence of early development of action planning in the human foetus: a kinematic study. *Experimental Brain Research*, 176, 217-226.