



HAL
open science

**Recommandations pour la pratique clinique : “
Interventions pendant la période périnatale ”. Chapitre
1 Partie 2: Effets bénéfiques de l’activité physique
maternelle durant la grossesse sur la santé du fœtus, du
nouveau-né et de l’enfant**

Benjamin C Guinhouya, Martine Duclos, Carina Enea, Laurent Storme

► **To cite this version:**

Benjamin C Guinhouya, Martine Duclos, Carina Enea, Laurent Storme. Recommandations pour la pratique clinique : “ Interventions pendant la période périnatale ”. Chapitre 1 Partie 2: Effets bénéfiques de l’activité physique maternelle durant la grossesse sur la santé du fœtus, du nouveau-né et de l’enfant. [Rapport de recherche] Collège National des Sages-Femmes de France. 2021. hal-03283253

HAL Id: hal-03283253

<https://hal.uca.fr/hal-03283253>

Submitted on 18 Jul 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L’archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d’enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives | 4.0
International License

C1.2

INTERVENTIONS PENDANT LA PÉRIODE PÉRINATALE

Recommandations pour la pratique clinique - 2021



ÉDITIONS DU
COLLÈGE DES
SAGES-FEMMES
DE FRANCE

RPC 2021 - Interventions pendant la période périnatale

Chapitre 1.2

Effets bénéfiques de l'activité physique maternelle
durant la grossesse sur la santé du fœtus, du
nouveau-né et de l'enfant

Benjamin C. Guinhouya¹

Martine Duclos^{2, 3, 4}

Carina Enea⁵

Laurent Storme^{1, 6}

Affiliations

1. Univ. Lille, ULR 2694 METRICS, F-59000 Lille, France
2. Department of Sport Medicine and Functional Explorations, University-Hospital (CHU), G.Montpied Hospital, Clermont-Ferrand, F-63003 Clermont-Ferrand, France
3. INRAE, UNH, CRNH Auvergne, F-63000 Clermont-Ferrand, France
4. Clermont University, University of Auvergne, UFR Médecine, BP 10448, F-63000 Clermont-Ferrand, France
5. Laboratoire MOVE (EA6314), Université de Poitiers, Faculté des sciences du sport, 8 allée Jean Monnet – TSA 31113 – 96073 Poitiers cedex 9.
6. Department of Neonatology, CHU Lille, F-59000 Lille, France

Correspondance

STORME Laurent, MD, PhD

laurent.storme@chru-lille.fr

Résumé

L'objectif de ce travail est de faire un état des lieux des effets de l'activité physique maternelle pendant la grossesse sur la santé de son enfant. Pendant les périodes gravidiques et postnatales, l'activité physique maternelle a montré des effets favorables dans le contrôle du risque de macrosomie, d'obésité et autres troubles cardio-métaboliques associés. Même si des études longitudinales chez l'humain sont encore nécessaires pour valider leur terme, ces effets ont été observés de façon cohérente dans les études animales. Un effet remarquable de l'activité physique maternelle est son rôle positif sur la neurogenèse, le développement du langage, la mémoire et autres fonctions cognitives liées à l'apprentissage.

Mots clés : capital santé, épigénétique, microbiome, mouvement, grossesse

1. Introduction

Jusque dans les années 1990, les données de la littérature laissaient entendre que la pratique de l'activité physique chez la femme enceinte pouvait mettre en péril le bon déroulement de la grossesse et représenter un risque pour le développement du fœtus voire pour la santé de la mère. Aujourd'hui encore, ces craintes sont souvent mises en avant par les femmes, leur entourage et certains professionnels de la périnatalité, dans l'optique de réduire ou de suspendre toute pratique physique chez la parturiente, y compris chez les femmes qui étaient sportives avant leur grossesse.

Pourtant, les récentes données de la littérature scientifique ont montré que l'engagement de la femme dans une activité physique régulière pendant sa grossesse présentait peu de dangers [1], tout en assurant de réels bénéfices pour la dyade mère-enfant, ainsi que pour le déroulement de la grossesse et de l'accouchement. Certaines études observationnelles ont permis d'établir des liens entre l'activité physique maternelle et certains marqueurs de santé durant la vie intra-utérine, mais également plus tard, au cours du développement de l'enfant. Ce type d'étude n'apporte pas un niveau de preuve suffisant pour affirmer une relation de cause à effet. Néanmoins, il est possible de montrer un effet « dose », le bénéfice augmentant avec le niveau d'activité physique, ce qui permet de renforcer l'association identifiée. D'autres résultats ont émané d'études interventionnelles du type « essai randomisé contrôlé » (ERC). Ces derniers viennent appuyer les hypothèses identifiées dans les études observationnelles. Enfin, les études expérimentales chez l'animal ont permis de mieux comprendre les mécanismes à l'origine des bénéfices de l'activité physique maternelle en période périnatale sur la santé de l'enfant. Ce sont toutefois les travaux de synthèse méthodique (i.e., revues systématiques et méta-analyses) des résultats des différentes études qui permettent de disposer des meilleurs niveaux de preuve. Notre analyse s'appuiera prioritairement sur ces synthèses complétées éventuellement par une analyse mécanistique.

C'est ainsi que les résultats de revues systématiques et méta-analyses ont montré que l'activité physique régulière au cours de la grossesse a de nombreux effets bénéfiques chez la femme enceinte [2-4] : ils font l'objet d'une mise au point dans cette revue, et une analyse complète de ces effets a été proposée dans un ouvrage récent [5].

L'objectif du présent travail est de proposer un état des lieux des effets de l'activité physique maternelle pendant la grossesse sur la santé de son enfant. Toutefois, avant d'aborder ces bienfaits rapportés pour la santé du fœtus puis celle du nouveau-né et de l'enfant, il nous apparaît important de mettre en lumière les données récentes de la littérature, montrant l'effet délétère du repos généralement prescrit à l'arrivée d'une grossesse.

A contrario, une synthèse de l'état des connaissances scientifiques sur les risques liés à la pratique d'activité physique par la femme enceinte a été récemment proposée [1]. La partie 1

des textes de recommandations portant sur l'activité physique s'intéresse aux bénéfices maternels de la pratique d'une activité physique en période périnatale¹.

2. Matériel et méthode

Pour cette revue, nous avons initialement recherché les publications dans Pubmed/Medline, complétée avec Scopus et Google Scholar. Ces moteurs de recherche ont été interrogés en utilisant et en associant différents groupes de mots clés et leurs termes Mesh associés, tels que : « Activité physique » ou « Exercice physique » ou « Sport » ; « Mère » ou « Maternelle » ou « Parturiente » ; « Grossesse » ou « Enceinte » ou « Parturiente » ou « Gestation » ; « Enfant » ou « Nouveau-né » ou « Fœtus ». Les articles publiés en langue anglaise sur cette thématique depuis l'origine de ces bases de référence jusqu'en décembre 2020. Cette recherche initiale, incluant uniquement les études portant sur l'humain, a été partiellement complétée par des études portant sur la dimension mécanistique des effets identifiés, notamment en prenant en compte les études réalisées sur différents modèles animaux. Les publications finalement retenues ont permis de classer les effets de l'activité physique maternelle pendant la grossesse selon l'étape de développement : vie fœtale, petite enfance et enfance. Une primauté a été accordée aux travaux de synthèse (i.e. revues et méta-analyses) par rapport aux études originales, sauf lorsque nous n'avons pas pu identifier une revue, qu'elle soit narrative ou méthodique.

3. Résultats commentés

3.1 Effets du repos prescrit et de l'inactivité physique de la femme enceinte sur l'enfant à naître

Plusieurs méta-analyses (6) ont étudié l'effet du repos avec hospitalisation en cours de grossesse en cas de retard de croissance intra-utérin [6], de menace d'accouchement prématuré parmi les grossesses uniques [7], d'hypertension [8], de menace de fausses couches dans la première moitié de la grossesse [9], de pré-éclampsie [10], de grossesses multiples [11]. La conclusion de chacune de ces méta-analyses est univoque : bien que le repos au lit à l'hôpital ou à domicile soit largement utilisé comme la première étape de traitement, il n'existe aucune preuve en faveur de la pertinence de cette pratique, notamment sur la croissance fœtale ou sur la prématurité.

Plus spécifiquement, il a été montré que le repos au lit ne réduit pas le risque d'une naissance prématurée, même dans les situations à risque. Dans une étude conduite en 1985 [13], 212 grossesses gémellaires ont été randomisées en deux groupes : « Hospitalisation

¹ Voir RPC "intervention pendant la période périnatale" : Chapitre 1, partie 1 (<https://hal.uca.fr/hal-03283246>)

prophylactique (avec repos au lit) à partir de 32 SA (n= 105 parturientes) » versus « Suivi ambulatoire (n=107 parturientes) ». La fréquence d'accouchements <37 SA a été significativement différente entre les deux groupes : 30,4% dans le bras hospitalisation et 18,7% dans le bras ambulatoire. Plus récemment, une étude a été conduite chez des femmes en menace d'accouchement prématuré entre 24⁺⁰ et 33⁺⁴ SA [12]. Les parturientes ont été randomisées entre « Prise en charge ambulatoire immédiatement après la cure de corticoïdes » (n = 50) et « Hospitalisation jusqu'à 34 SA » (n = 51). La proportion d'accouchement ≥ 36 SA n'a pas été différente entre les deux groupes : 71% parmi les femmes hospitalisées versus 72% parmi les femmes prises en charge en ambulatoire (p=0.89), alors que la durée moyenne d'hospitalisation a été de 16 jours dans le bras hospitalisation. La fréquence d'accouchement ≤ 34 SA a également été similaire : 22% versus 24%, respectivement [12]. Une absence de bénéfice du repos au lit a aussi été démontrée après rupture prématurée des membranes ou en cas de placenta praevia. Carlan et al. [13]. ont randomisé 67 femmes enceintes ayant une RPM avant terme entre prise en charge expectative à domicile (n = 27) versus à l'hôpital (n = 28). L'âge gestationnel à la rupture des membranes était similaire (30.6 \pm 3.7 SA versus 31.7 \pm 3.5 SA, respectivement). Il n'y a pas eu de différence significative quant à l'âge gestationnel à la naissance (33.2 \pm 3.2 SA versus 33.5 \pm 3.4 SA, respectivement), le délai de latence (18 \pm 22 jours versus 12 \pm 13 jours, respectivement), le nombre de chorioamniotites (4 versus 3, respectivement) et de césariennes (3 versus 6, respectivement). Dans la publication de Wing et al. [14], 53 femmes avec un diagnostic initial de placenta praevia ont nécessité une hospitalisation pour métrorragies. Les patientes ont été randomisées entre prise en charge expectative hospitalière avec repos au lit et déambulation minimale (n = 27) et prise en charge expectative en ambulatoire (n = 26). L'âge gestationnel moyen à l'accouchement était de 34.5 \pm 2.4 SA pour les patientes du groupe hospitalisation et de 34.6 \pm 2.3 SA pour les patientes du groupe ambulatoire (p = 0.90). Il n'y avait pas de différence sur la morbidité néonatale (définie par la présence d'un syndrome de détresse respiratoire, d'une hémorragie intracrânienne, ou d'un sepsis prouvé) entre les deux groupes (RR= 1.16 ; IC_{95%} : 0.66 ; 2.02). Il n'y a pas eu de décès néonatal. Ainsi, en 2012, l'ACOG a indiqué que le repos au lit n'a pas été démontré efficace sur la prévention de la prématurité et ne devrait pas être recommandé en routine [15]. Dans ses Recommandations pour la Pratique Clinique (RPC) de 2016, le Collège National des Gynécologues et Obstétriciens Français (CNGOF) indiquait également qu'en cas de menace d'accouchement prématuré, « l'hospitalisation prolongée (grade B) et le repos au lit strict (grade C) ne sont pas recommandés ». [16].

Enfin, sur le plan psychologique, le repos au lit est associé à une augmentation des risques de troubles de l'humeur, de stress lié à une séparation de la famille, de sentiments ambivalents sur la grossesse, et de sentiment de culpabilité en cas d'incapacité à être adhérente à la prescription [17-20]. Les conséquences émotionnelles affectent également le père (sentiment de détresse) et les autres enfants de la fratrie (effets émotionnels adverses avec réactions négatives) [21, 22]. L'ensemble de ces conséquences psychologiques peuvent nuire aux interactions précoces et aux liens d'attachement parents – enfant, lesquels sont nécessaires à un développement harmonieux de l'enfant.

3.2 Effets de l'activité physique maternelle sur le développement du fœtus

La pratique d'une activité physique pendant la grossesse a longtemps été source d'inquiétudes, notamment parce que des doutes subsistaient quant à ses effets potentiellement délétères sur la santé du fœtus. La littérature scientifique se veut néanmoins rassurante sur le sujet, même si certaines modalités d'exercice méritent d'être davantage étudiées.

Effet de l'exercice aigu et chronique sur le débit sanguin utéroplacentaire

L'hypothèse qui a longtemps été débattue est que l'activité physique, en provoquant une redistribution du sang au profit des muscles actifs, pouvait être à l'origine d'une baisse de l'approvisionnement fœtal en oxygène et en nutriments, augmentant ainsi le risque d'hypoxie aiguë et de tachycardie fœtales et mettant en péril le développement staturo-pondéral du fœtus [23]. En effet, il a longtemps été suggéré que la diminution du débit sanguin viscéral observé avec l'exercice, était susceptible d'entraîner une baisse du débit utéroplacentaire pouvant aller jusqu'à 50% de la valeur de repos [24]. L'amplitude de la diminution semble varier selon le type d'exercice (continu ou intermittent ; exercice en charge ou en décharge ; importance de la masse musculaire utilisée, etc.), l'intensité et la durée de l'exercice, mais également selon la position de la mère (debout, assise ou allongée). Bien que la perfusion placentaire lors de l'exercice n'ait pas été directement mesurée dans les différentes études réalisées sur ce sujet, les conclusions d'une récente revue systématique avec méta-analyse sont rassurantes. D'après ces auteurs, une session d'exercice effectuée à intensité modérée n'a pas d'effet délétère sur le débit sanguin des artères ombilicales et utérines [25].

La pratique régulière d'une activité physique aérobie d'intensité modérée (marche rapide, course à pied, marche nordique, cyclisme, natation, etc.) semble même entraîner des adaptations chroniques positives de l'hémodynamique maternel. En effet, la répétition régulière de sessions d'exercice pendant la grossesse majore les adaptations cardiovasculaires induites par la grossesse : on observe ainsi chez les femmes actives une élévation plus importante du volume plasmatique, du débit cardiaque, de la compliance vasculaire, du volume placentaire en milieu de grossesse et du volume sanguin de l'espace inter-villositaire [26]. Cette exacerbation des adaptations cardiovasculaires est supposée augmenter la perfusion placentaire au repos. Bien qu'il n'y ait pas eu de mesures directes des effets de l'entraînement sur la perfusion placentaire, les données actuelles suggèrent que commencer ou continuer à pratiquer une activité physique régulière au cours de la grossesse pourrait augmenter le débit sanguin utéroplacentaire au repos et ainsi majorer la quantité de substrats et d'oxygène délivrés au fœtus [24].

Au total, une session d'exercice aiguë ne semble pas entraîner de réduction cliniquement significative du débit sanguin utéroplacentaire. L'entraînement en endurance semble même augmenter ce débit au repos, en favorisant notamment le remodelage vasculaire et l'angiogenèse dans les artères ombilicales et utérines.

Effet de l'exercice physique sur la fréquence cardiaque (FC) fœtale

En règle générale, la réponse du fœtus à l'exercice maternel est une augmentation modérée de la FC de 6 battements par minute [25], la FC fœtale retournant à la valeur de repos environ 20 minutes après la fin de l'exercice. L'importance de l'augmentation de la FC fœtale et sa durée dépendent de l'intensité et de la durée de l'exercice de la mère. Il s'agit d'une réponse adaptative du fœtus et les réponses cardiaques fœtales sont similaires, que les femmes aient une activité physique régulière ou non. Ces réponses sont observées pour des exercices d'endurance d'intensité modérée (marche rapide, vélo, natation). Un travail portant spécifiquement sur les effets du yoga n'a rapporté aucune modification de la FC fœtale après une session d'exercice d'une durée de 2 heures. Peu d'études ont considéré les effets du renforcement musculaire ; celles réalisées ne mettent pas en évidence de modification significative de la FC fœtale (effet d'une session d'exercice et effet de l'entraînement), à condition que les exercices en décubitus dorsal soient évités, cette modalité d'exercice pouvant induire une bradycardie fœtale.

Au total, l'activité physique de la mère est bien tolérée par le fœtus si elle est réalisée dans le cas d'une grossesse sans complication, et si elle n'est pas pratiquée en position couchée (compression de l'aorte pouvant diminuer le débit sanguin utéroplacentaire). Le risque pour le fœtus de souffrir de bradycardie ou de tachycardie n'est pas plus important que quand la mère est au repos et lorsque ces événements étaient identifiés à l'exercice, ils étaient transitoires (<2min) et n'étaient pas considérés comme cliniquement significatifs. Seuls les exercices de type aérobie effectués à une intensité très élevée ($\geq 85-90\%$ de la FC maximale de la mère) sont fortement déconseillés, car ils sont associés à un risque accru de bradycardie fœtale [27]. Dans tous les cas, l'activité physique semble avoir un effet bénéfique sur le contrôle autonome du myocarde fœtal (augmentation de la variabilité de la FC), qui semble perdurer durant les années post-natales [28].

Effet de l'exercice sur la croissance et le développement placentaire

La pratique régulière d'exercices physiques pendant la grossesse influence la croissance placentaire et les indices anatomiques de capacité fonctionnelle du placenta dans un sens plutôt favorable dans la plupart des cas (Cas 1 : femme ayant commencé puis continué tout au long de la grossesse un programme d'activité physique d'intensité modérée ; Cas 2 : femme ayant continué un programme d'activité physique de volume important pendant le premier trimestre puis diminué le volume à 60% dans la deuxième moitié ; Cas 3 : femme ayant continué au cours de la grossesse le programme d'activité physique de volume modéré qui était le sien avant la grossesse). Seul un programme d'activité physique, qui est identique ou inférieur pendant la première moitié de grossesse à celui qui était réalisé avant la grossesse, puis augmenté en deuxième partie de grossesse avec des charges d'entraînement à un niveau égal ou supérieur à celui d'avant la grossesse, est associé à une diminution du volume placentaire en milieu de grossesse avec des effets très variables d'une femme à l'autre sur le volume fonctionnel placentaire à terme (probable interaction entre les effets du régime d'activité physique et ceux de la diététique associée qui n'est pas contrôlée dans toutes les études) (Pour une revue complète, Cf. Clapp [29]).

Risque d'hyperthermie fœtale avec effet tératogène

Certaines modalités d'exercice augmentent de manière significative la température corporelle. Chez l'animal, il a été rapporté des anomalies de la fermeture du tube neural en rapport avec l'hyperthermie de l'exercice. Ces résultats n'ont pas été confirmés chez l'humain avec, au contraire, une diminution de 20 à 30% du risque d'anomalies de fermeture du tube neural chez les femmes sportives pendant la grossesse par rapport aux femmes non actives. De plus, aucune étude prospective n'a mis en évidence d'association entre l'augmentation de la température liée à l'exercice chez la femme et le risque de malformations congénitales [30].

Ces différences avec l'animal s'expliquent probablement par une meilleure capacité thermorégulatrice dans l'espèce humaine, notamment au cours de la grossesse. De plus, l'augmentation de la température corporelle liée à l'exercice (dans des conditions non extrêmes) n'est pas suffisante pour augmenter la température du fœtus. Enfin, l'entraînement augmente la capacité de la femme à dissiper la chaleur et cette adaptation se prolonge quand la femme est enceinte. Au total, l'activité physique de la parturiente est donc bien tolérée par le fœtus, que ce soit en aigu (effet d'une session d'exercice) ou de façon répétée (effets d'un programme de condition physique [16]).

3.3 Effets de l'activité physique maternelle sur la santé et le développement de l'enfant

Effets sur la croissance fœtale et poids de naissance du nouveau-né

Les données existantes concernant les effets de l'activité physique régulière pendant la grossesse sur le poids de l'enfant à la naissance sont assez contrastées [31]. Une des raisons principales est que les effets de l'exercice physique peuvent être modifiés par la diététique au cours de la grossesse. De plus, il existe de grandes disparités entre les différentes études par rapport aux différents types d'exercices pratiqués.

Trois méta-analyses ont permis de conclure que l'activité physique pendant la grossesse n'influe pas significativement le poids de naissance (femmes avec activité physique pendant la grossesse versus femmes sans activité physique) [2, 32, 33]. Seules les femmes qui gardent une activité physique d'intensité élevée (entre 6.0 et 8.9 METs) (pour définition cf p.3) pendant le 3^{ème} trimestre auraient une probabilité plus forte d'accoucher d'un enfant pesant 200 à 400 g de moins que les enfants de femmes non actives, sans toutefois augmenter le risque d'hypotrophie fœtale (poids de naissance <10^{ème} percentile) ou de petit poids pour l'âge gestationnel. Une étude de cohorte Canadienne publiée en 2017, suggère également que les nouveau-nés d'une catégorie spécifique de femmes enceintes (celles qui développent une pré-éclampsie par la suite) avaient en moyenne 20 g de moins pour chaque 1 MET/heure d'activité physique réalisée par semaine [34]. D'un autre côté, les résultats d'une méta-analyse publiée cette même année 2017, révélaient une probabilité moindre chez les femmes ayant maintenu une activité physique de loisir pendant leur grossesse d'avoir des enfants de poids élevé pour l'âge gestationnel [35]. Les auteurs y ont inclus 30 essais

randomisés et contrôlés (ERC) et 51 études de cohorte. La méta-analyse des ERC a montré que l'engagement des femmes enceintes dans une activité physique de loisir était associé à un moindre gain de poids gestationnel (OR : 0.82, IC_{95%} : 0.68-0.99), une faible probabilité de développer un diabète gestationnel (RR : 0.67, IC_{95%} : 0.49-0.92) et une faible probabilité de donner naissance à un enfant ayant un poids élevé pour l'âge gestationnel (RR : 0.51, IC_{95%} : 0.30-0.87) [35]. Au total, l'activité physique induit une légère baisse de poids fœtal, mais sans augmenter le risque d'enfant petit pour l'âge gestationnel. A l'inverse, un effet protecteur est constaté sur le risque de diabète gestationnel.

Un certain contrôle du poids de naissance apparaît tout de même comme un résultat, sans doute indirect, de l'engagement de la femme enceinte dans une activité physique dont l'intensité, la durée ainsi que le moment (1^{er} trimestre versus 3^{ème} trimestre versus tout au long de la grossesse) méritent d'être mieux appréhendés. De même, des mesures plus précises et détaillées de la composition corporelle des nouveau-nés peuvent apporter des renseignements utiles quant à la répartition des différentes masses relativement à la pratique physique maternelle.

Contrôle de la prise de poids maternelle et poids de naissance du nouveau-né

Le poids et l'IMC maternels sont positivement corrélés au poids de naissance de l'enfant [36]. De même, les enfants nés de femmes ayant présenté un diabète gestationnel sont à risque de macrosomie (plus de 45% des enfants) et de complications néonatales (détresse respiratoire, hypoglycémie, hyperbilirubinémie, cardiomyopathie hypertrophique, etc.). À plus long terme, ces enfants sont aussi à risque de surpoids ou d'obésité, de développer un diabète et d'avoir des troubles du neuro-développement [37]. Sachant que l'activité physique pratiquée régulièrement pendant la grossesse : i) est associée à une moindre prise de poids au cours de la grossesse, quel que soit l'IMC de la mère avant la grossesse ; ii) permet de diminuer le risque de diabète gestationnel (d'autant plus si elle est associée à une activité physique l'année précédant la grossesse) ; iii) joue un rôle protecteur sur le risque de pré-éclampsie, et iiiii) permettrait de réduire aussi les complications au cours de l'accouchement (macrosomie fœtale, souffrance fœtale) et les risques sur la santé ultérieure de l'enfant (obésité, diabète)[38].

Des travaux sur les effets à long terme et les interactions entre activité physique pendant la grossesse et les effets sur le développement fœtal et postnatal à long terme sont nécessaires, en excluant de nombreux biais potentiels (rôle de la nutrition, de l'IMC de la mère, de l'activité physique avant la grossesse, etc.), pour déterminer si l'activité physique pendant la grossesse peut limiter les effets de cette programmation néo-natale favorisant l'apparition de troubles métaboliques ultérieurs chez l'enfant, avec une possibilité de persistance à l'âge adulte. Cependant, les quelques études qui ont été réalisées chez les enfants exposés à l'activité physique in utero montrent un effet favorable sur leur développement post-natal. Alors qu'à un an il n'a pas été observé de différences sur les paramètres de croissance (taille, poids, différents diamètres : tête, thorax, abdomen) entre les enfants exposés ou non à l'activité physique in utero [39-41], à 5 ans, des différences statistiquement significatives apparaissent, avec un poids et une masse grasse inférieurs chez les enfants exposés à l'activité

physique in utero, par rapport à ceux dont les mères n'ont pas fait d'activité physique pendant leur grossesse [40]. Les facteurs épigénétiques semblent être impliqués dans cette « programmation » de la corpulence du nouveau-né et de l'enfant. Les résultats de McCullough et al., sont les premiers à montrer chez l'Homme, l'implication de processus épigénétiques (i.e. méthylation des régions différenciellement méthylées du gène PLAGL1) dans les effets de l'activité physique maternelle sur la réduction du poids de naissance [42].

Effets sur la « programmabilité » de l'activité physique future de l'enfant et contrôle du risque d'obésité et des troubles métaboliques associés

Des études expérimentales chez l'animal ont permis de mettre à jour le caractère « programmable » de l'activité physique de l'enfant, en fonction du mode de vie adopté par la mère pendant la grossesse [43, 44]. En effet, les travaux de l'équipe de Robert Waterland de l'Université de Houston (TX, USA), portant sur la programmabilité de la balance énergétique, convergent pour soutenir la primauté des altérations de l'activité physique sur celles de la consommation calorique.

Le premier modèle investi par ce groupe de recherche a porté sur les effets transgénérationnels de l'obésité maternelle. Pour cela, les auteurs se sont basés sur le modèle des souris de type Agouti Jaune viable (A^{vy}/a), attractives en raison de leur caractère spontanément hyperphagique et de leur propension à devenir obèses à l'âge adulte. À partir du modèle initial, les auteurs ont fait passer l'allèle A^{vy} promoteur d'obésité par quatre générations femelles germinales, afin d'obtenir des souris isogéniques. Des souriceaux issus de femelles maigres (a/a) et obèses (A^{vy}/a) ont été étudiés, et ont été alimentés de façon croisée, de telle sorte que ceux issus de femelles maigres (a/a) ont été nourris par des femelles obèses (A^{vy}/a) et inversement. De nombreux enseignements ont été tirés lors du suivi jusqu'à l'âge adulte de ces souriceaux. En particulier, les femelles nées de souris obèses avaient présenté un retard de croissance suivi d'un rattrapage, ayant mené à une augmentation de la masse corporelle et de l'adiposité à l'âge adulte, lorsqu'elles ont été allaitées par les souris maigres. Plus important encore, alors que la consommation alimentaire de ces progénitures obèses n'était pas différente de celle du groupe contrôle, leur niveau d'activité physique et de dépense énergétique se sont abaissés au sevrage, et cette baisse d'activité physique avait été maintenue jusqu'à l'âge adulte [44]. Les auteurs en ont conclu que le déséquilibre de la balance énergétique était essentiellement lié à une diminution chronique de l'activité physique spontanée chez ces souris, du fait d'une exposition in utero à la sédentarité et l'inactivité physique de leur mère [45].

Le second modèle de rongeur utilisé par cette équipe de recherche a été celui de l'élevage de souriceaux au sein d'une petite portée (4 rongeurs/portée), dans le but de les exposer à une suralimentation pendant la période d'allaitement. En général, lorsque des rats ou des souris sont élevés au sein d'une petite portée, ils deviennent plus gros à l'âge du sevrage (21 jours) et maintiennent cette corpulence élevée jusqu'à l'âge adulte, comparativement à des contrôles élevés dans une portée de taille normale (environ 9 rongeurs/portée). Des études menées en cage métabolique pour évaluer la contribution relative de la consommation calorique et de la dépense énergétique, chez ces rats et souriceaux dont la balance énergétique était en

déséquilibre, ont révélé qu'à l'âge adulte la baisse de la dépense énergétique était corrélée avec une réduction de l'activité physique spontanée dans cette population comparée au groupe contrôle ; les deux groupes ayant été exposés à une alimentation ad libitum. Cette réduction de l'activité physique spontanée est plus marquée chez les femelles à 180 jours [44].

Sur la base des premières observations énoncées ci-dessus, Eclarinal et al.[43] ont conduit une expérimentation visant à examiner le rôle de l'activité physique discrétionnaire de la mère dans l'induction de changements permanents de l'activité physique discrétionnaire de sa progéniture. Des souris femelles adultes isogéniques de type C57BL/6J ont été aléatoirement assignées dans une cage à roue de course libre ou bloquée, avant et pendant leur gestation. Plusieurs paramètres ont été mesurés chez les mères et leurs progénitures (à différents âges), tels que le poids, la composition corporelle ainsi que l'activité courante dans la roue. Il a été observé que les progénitures des souris assignées dans la cage à roue libre, en particulier les femelles (et ce, dès l'âge de la maturité sexuelle), étaient physiquement plus actives à l'âge adulte que leurs paires issues de souris ayant vécu leur période pré-gestative et gestative dans une cage à roue bloquée. Cette observation suggère une forte possibilité de programmation du comportement d'activité physique dans la génération suivante. Par ailleurs, des résultats encore plus récents d'une équipe de recherche de l'Université d'Etat de Washington (WA, USA)[28] sont venus corroborer les conclusions selon lesquelles l'activité physique maternelle pouvait agir dans la prévention de l'obésité et les troubles métaboliques associés. Son et al. [28] ont montré, en se basant sur le même modèle de souris sauvage isogénique, le type C57BL/6J, que l'implication des femelles dans un régime d'exercice physique durant leur gestation prévenait et protégeait leurs progénitures contre l'obésité et ses troubles métaboliques, comparativement aux progénitures des femelles restées sédentaires pendant leur gestation. L'exercice physique maternel améliorerait la déméthylation de l'ADN au niveau du promoteur du gène PRDM16 ainsi que le métabolisme du tissu adipeux brun. L'Apeline, une hormone produite lors de l'exercice physique, semble contribuer aux effets positifs de l'activité physique maternelle sur le devenir métabolique de sa progéniture [28]. L'ensemble de ces nouveaux résultats suggère par conséquent la susceptibilité de l'activité physique maternelle pendant la grossesse à « programmer » l'activité physique de son enfant [43, 44], avec un effet persistant, à la fois sur le maintien d'un mode de vie actif et sur le contrôle de l'obésité et ses troubles métaboliques associés, jusqu'à l'âge adulte [28, 46]. Cet effet serait majoré chez les filles. Des études chez l'homme restent néanmoins attendues pour vérifier ces observations.

Effets sur la régulation autonome du myocarde

Un nombre croissant d'études suggère aussi que la réalisation d'exercice pendant la grossesse est associée avec une FC plus basse et une variabilité du rythme sinusal plus élevée chez le fœtus (une faible variabilité sinusale de la FC est un marqueur du risque cardiovasculaire chez l'adulte). La persistance de cet effet sur la variabilité du rythme sinusal, observée après la naissance [47, 48], est le signe de la mise en place d'un mécanisme d'adaptation de la régulation autonome du myocarde des enfants. Un effet dose-réponse (entre la quantité d'activité physique de la mère pendant la grossesse et l'augmentation de la variabilité sinusale) a aussi été montré, sachant que toutes les femmes impliquées dans les études

respectaient le niveau d'activité physique recommandé [47, 48]. Cet effet sur le système nerveux autonome semble être spécifiquement attribué à l'exposition in utero à l'exercice physique de la mère car aucune autre variable (i.e., IMC maternel, âge mère, niveau éducation) n'était significativement associée à ces résultats [47, 48].

Effets sur le développement neurocognitif

Plusieurs études ont montré un effet positif de l'activité physique de la femme pendant sa grossesse sur le développement neuro-moteur de l'enfant. Un meilleur score de Brazelton a été observé dès le 5^{ème} jour de vie chez les enfants nés de mères actives, comparés à un groupe contrôle apparié [49]. Une étude interventionnelle [50] a été réalisée dans un groupe de femmes enceintes canadiennes. Il était demandé aux femmes randomisées dans le groupe actif d'effectuer, au moins trois fois par semaine, un exercice aérobie d'intensité modérée (20 min à 55% de la puissance maximale aérobie). L'intensité de l'exercice était contrôlée grâce à l'utilisation de l'échelle de perception de l'effort [51]. Le critère de jugement principal de l'étude était une mesure d'une activité électrique spécifique qu'il est possible d'enregistrer sur l'EEG des nouveau-nés lorsque l'enfant distingue un son atypique au sein d'une série de son. Cette onde permet d'évaluer la capacité de discrimination des sons et de mémorisation auditive et est un reflet du degré de maturation cérébrale. Des différences significatives en faveur du groupe actif ont été montrées. Ces résultats pourraient expliquer le meilleur développement du langage, support de la communication, chez les enfants de mères actives.

D'autres études suggèrent que l'exercice maternel pendant la grossesse peut améliorer les fonctions cognitives de l'enfant à 8 mois, 12 mois, 2 ans et 3 ans [52-55]. Cet effet positif a été illustré par l'amélioration de l'apprentissage et de la mémoire, et par la diminution des comportements anxieux [55], points cardinaux des troubles neuro-développementaux, y compris du retard de langage [53].

Les données épidémiologiques existantes permettent de souligner l'importance du rôle de l'activité physique prénatale sur le neurodéveloppement [53, 56, 57]. Domingues et al. [56] ont observé dans une cohorte historico-prospective brésilienne, que l'activité physique de la femme pendant la grossesse était positivement associée aux scores à différents tests neuro-développementaux (ex. : interactions de qualité, communication, attention, habiletés motrices ainsi que la mémorisation) mesurés chez leur enfant à 12 mois. Ce résultat a été tangible même après la prise en compte des facteurs de confusion, y compris le revenu familial, le niveau d'études des parents, le tabagisme, la prématurité [56]. Comparativement aux enfants de femmes inactives ou sédentaires, les enfants nés de femmes actives tout au long de leur grossesse avaient respectivement 1.51 (IC_{95%} : 1.17-1.94) fois plus de chance d'obtenir des scores élevés aux tests neuro-développementaux [56]. En 2013, Jukic et al. [53] avaient déjà obtenu des résultats similaires, à partir de la cohorte britannique « Avon Longitudinal Study of Parents and Children (ALSPAC) ». En effet, les enfants de 15 mois dont les mères avaient suivi les recommandations d'activité physique pendant leur grossesse, avaient une meilleure capacité à utiliser une variété de mots.

Le devenir à 5 ans des enfants de femmes physiquement actives a été comparé à un groupe témoin apparié pour de nombreuses variables prénatales et postnatales connues pour influencer le devenir. Les scores sur l'échelle de Wechsler et les tests de compétences verbales

étaient significativement plus élevés chez les enfants de mère active [58]. Dans une étude de cohorte de 538 enfants menée en Pologne, les scores verbaux mesurés par le Bayley III étaient plus élevés chez les enfants dont les mères avaient une activité physique d'intensité modérée pendant plus de 2.5 h/semaine [57]. Dans une population espagnole de 1868 enfants de 6 à 18 ans, le niveau scolaire des garçons (mais pas des filles) était plus élevé lorsque les mères étaient physiquement actives avant et pendant la grossesse [59]. Par ailleurs, le devenir à 1 an des enfants de mères actives a été comparé de façon prospective à celui d'un groupe contrôle soigneusement sélectionné. Pour limiter les biais de confusion, toutes les femmes de l'étude étaient en bonne forme physique, étaient âgées de 25 à 38 ans, de poids et de masse grasse définies et de niveau socio-économiques similaires (revenu familial >50^{ème} centile, les deux parents avec un diplôme d'études secondaires, situation familiale stable). Le score de Bayley a été évalué en aveugle par des examinateurs indépendants. Le score psychomoteur était plus élevé dans le groupe des femmes actives (108 ± 1 vs 101 ± 2 , $p=0.05$) [60]. Ces différents résultats sont cohérents avec ceux rapportés dans les deux synthèses scientifiques les plus récentes [52, 54] qui soutiennent que l'activité physique maternelle pendant la grossesse influence positivement le neuro-développement total et le développement spécifique du langage des enfants, en particulier dans leur 18 premiers mois [54]. En outre, les effets de l'activité physique prénatale sur l'amélioration de l'intelligence générale semblent augmenter à mesure que les enfants grandissent [52].

3.4. Par quels mécanismes l'activité physique pendant la grossesse améliorent-ils la santé de l'enfant ?

Chez des rongeurs, une neurogenèse accrue a été observée chez la progéniture de rates gestantes actives [61, 62]. Bien que les mécanismes physiologiques à l'origine de cet effet ne soient pas encore complètement compris, il est raisonnable de penser que l'exercice physique de la mère pendant la grossesse pourrait : i) induire des effets favorables au développement neurocognitif de la progéniture par un transfert placentaire direct de facteurs circulants, tels que le facteur neurotrophique dérivé du cerveau ou « Brain-Derived Neurotrophic Factor (BDNF) », impliqué dans la neurogenèse de l'hippocampe ; ii) provoquer des modifications épigénétiques (par exemple la diminution de la méthylation de l'ADN et augmentation de l'acétylation de l'histone sur la région promotrice de l'exon IV du gène BDNF dans l'hippocampe) [63]; iii) améliorer le comportement maternel en réduisant le stress maternel, avec des conséquences positives sur les interactions mère-enfant.

Une augmentation des apports du BDNF est corrélée avec une mémoire et des capacités d'apprentissage plus élevées [61]. Le BDNF peut passer la barrière placentaire [64]. Les concentrations plasmatiques de BDNF sont plus élevées chez femmes enceintes actives que chez les femmes sédentaires [65], ce qui pourrait avoir un impact sur le développement cérébral du fœtus. Tous ces mécanismes doivent encore être confirmés chez l'Homme.

Une autre piste majeure repose sur l'effet de l'activité physique de la femme enceinte sur le remaniement de son propre microbiome. Des données très récentes ont révélé des différences du microbiote intestinal entre les femmes physiquement actives et les femmes sédentaires [66], avec une augmentation, chez les femmes actives, de l'abondance de bactéries favorables

à la santé telles que : *Bifidobacterium* spp, *Roseburia hominis*, *Akkermensia muciniphila*, *Faecalibacterium Prausnitzii* [66]. La colonisation bactérienne peut être cruciale pour le bon développement cérébral (axe intestin-cerveau), par le biais de mécanismes impliquant la production, l'expression et le renouvellement de neurotransmetteurs tels que la sérotonine, l'acide gamma-aminobutyrique (GABA) ou le BDNF [67]. Tous ces facteurs sont connus pour leur rôle essentiel dans le développement neurocognitif, et celui du langage en particulier. Outre les nouvelles connaissances sur la colonisation microbienne du fœtus à partir du placenta [68] et bien que d'importantes controverses [69] ainsi qu'un débat brûlant sont actuellement animés sur ce sujet, l'accouchement, plus précisément le mode d'accouchement (i.e. césarienne versus voie basse) constitue un autre moment important de l'enrichissement du microbiome infantile. En effet, le risque de troubles immuno-métaboliques semble être majoré chez les enfants nés par césarienne par rapport aux enfants nés par voie basse, en raison de la faible exposition des premiers à la flore vaginale de leur mère [70-72]. Puisque la fréquence d'accouchement par Césarienne est moindre dans les populations de femmes physiquement actives pendant leur grossesse [73], on peut tout à fait objecter un effet indirect de l'activité physique sur la constitution du capital santé du nouveau-né. Un tel effet serait contrôlé par l'influence favorable de l'activité physique maternelle sur l'accouchement par voie basse ainsi que la réorganisation du microbiote maternel dont le nourrisson pourrait « hériter ». Ces pistes méritent néanmoins d'être explorées par des études complémentaires. L'activité physique en période périnatale réduit le risque de dépression du post-partum. Les données de la littérature sont solides, s'appuyant à la fois sur des études observationnelles et des études interventionnelles [74, 75]. Cette pathologie touche de 10 à 15% des femmes après la naissance de leur enfant [76]. Les effets négatifs de la dépression du post-partum comprennent un risque accru d'attachement précaire et fragile, ainsi que des troubles du neuro-développement incluant des troubles cognitifs, un retard de langage et des troubles du comportement. La prévention du risque de dépression du post-partum par l'activité physique peut aussi expliquer les bénéfices à long-terme retrouvés chez l'enfant.

4. Conclusion

De nombreuses études cliniques observationnelles mais aussi interventionnelles, ainsi que des méta-analyses, montrent, pour l'enfant à naître, d'un côté les effets néfastes de la sédentarité, de l'autre les effets bénéfiques de l'activité physique pendant la grossesse. Il est possible de montrer un effet « dose », le bénéfice augmentant avec le niveau d'activité physique, ce qui renforce l'hypothèse d'un lien causal. Des études expérimentales chez l'animal ont également permis de comprendre les mécanismes expliquant les bénéfices neuro-développementaux de l'activité physique en période périnatale. Certaines données de ces cinq dernières années suggèrent enfin la susceptibilité de l'activité physique maternelle pendant la grossesse à « programmer » l'activité physique de son enfant, avec un effet persistant, à la fois sur le maintien d'un mode de vie actif et sur le contrôle de l'obésité et ses troubles métaboliques associés, jusqu'à l'âge adulte. Cet effet serait majoré chez les filles. Des études chez l'humain devraient être menées pour vérifier ces nouvelles observations.

Ainsi, une activité physique régulière est recommandée au cours de la grossesse au bénéfice de l'enfant à naître. À côté de facteurs comme l'alimentation, la réduction de l'exposition aux toxiques et au stress, l'activité physique est un des déterminants du devenir à long terme de l'enfant.

Au vu des nombreux effets bénéfiques sur le fœtus et le nouveau-né, il est recommandé aux femmes enceintes :

- De commencer ou de maintenir une AP d'intensité modérée ≥ 150 min par semaine avec au moins trois sessions d'une durée supérieure à 30 min (Grade A).
- De commencer ou maintenir des exercices de renforcement musculaire impliquant de grands groupes musculaires (1 à 2 fois par semaine) (Grade A).
- De limiter le temps de sédentarité (<7h par jour) (Accord d'experts).

Remerciements

Les auteurs remercient les coordonnateurs (Chloé Barasinski, Clermont-Ferrand ; Rémi Béranger, Rennes ; Catherine Salinier, Gradignan ; Cécile Zaros, Paris) et les experts du groupe de travail (Julie Bercherie, Paris ; Jonathan Y. Bernard, Paris ; Nathalie Boisseau, Clermont-Ferrand ; Aurore Camier, Paris ; Corinne Chanal, Montpellier ; Bérénice Doray, la Réunion ; Romain Dugravier, Paris ; Anne Evrard, Lyon ; Anne-Sophie Ficheux, Brest ; Ronan Garlantézec, Rennes ; Manik Kadawathagedara, Rennes ; Marion Lecorguillé, Paris ; Cécile Marie, Clermont-Ferrand ; Françoise Molénat, Montpellier ; Fabienne Pelé, Rennes ; Brune Pommeret de Villepin, Lille ; Mélie Rousseau, Loos ; Virginie Rigourd, Paris ; Laurent Storme, Lille ; Anne Laurent-Vannier, Saint-Maurice ; Stéphanie Weiss, Chambéry), qui ont contribué aux échanges, ainsi qu'à la production et à la validation de ce texte. Les auteurs remercient également les membres du groupe de lecture qui ont relu l'ensemble des textes (liste complète présentée dans le texte de synthèse²). Merci à Clara Liparelli et Marie-Cécile Moulinier pour leur assistance éditoriale, ainsi qu'à Bruno Enderlin pour son assistance infographique. Charte graphique : Rémy Tricot.

² Voir RPC "intervention pendant la période périnatale" : Synthèse (<https://hal.uca.fr/hal-03283227>)

Références

- 1 - Verdière S, Guinhouya BC, Salerno D, Deruelle P. L'activité physique devrait-elle être contre-indiquée pendant la grossesse au regard des risques qui lui sont potentiellement associés ? *Gynecol Obstet Fertil Senol.* 2017 45(2):104-11.
- 2 - Kramer MS, McDonald SW. Aerobic exercise for women during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2006 Jul 19(3):CD000180.
- 3 - Mudd LM, Owe KM, Mottola MF, Pivarnik JM. Health benefits of physical activity during pregnancy: an international perspective. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 2013;45(2):268-77.
- 4 - Nascimento SL, Surita FG, Cecatti JG. Physical exercise during pregnancy: a systematic review. *Curr Opin Obstet Gynecol.* 2012;24(6):387-94.
- 5 - Guinhouya BC. L'activité physique chez la femme enceinte et l'accouchée. Médecine-Sciences ed. Paris: Lavoisier 2020.
- 6 - Gulmezoglu AM, Hofmeyr GJ. Bed rest in hospital for suspected impaired fetal growth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2000(2):CD000034.
- 7 - Sosa CG, Althabe F, Belizan JM, Bergel E. Bed rest in singleton pregnancies for preventing preterm birth. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Mar 30(3):CD003581.
- 8 - Meher S, Abalos E, Carroli G. Bed rest with or without hospitalisation for hypertension during pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2005 Oct 19(4):CD003514.
- 9 - Aleman A, Althabe F, Belizan J, Bergel E. Bed rest during pregnancy for preventing miscarriage. *Cochrane Database Syst Rev.* 2005 Apr 18(2):CD003576.
- 10 - Meher S, Duley L. Rest during pregnancy for preventing pre-eclampsia and its complications in women with normal blood pressure. *Cochrane Database Syst Rev.* 2006 Apr 19(2):CD005939.
- 11 - Crowther CA, Han S. Hospitalisation and bed rest for multiple pregnancy. *Cochrane Database Syst Rev.* 2010 Jul 7(7):CD000110.
- 12 - Yost NP, Bloom SL, McIntire DD, Leveno KJ. Hospitalization for women with arrested preterm labor: a randomized trial. *Obstet Gynecol.* 2005 Jul;106(1):14-8.
- 13 - Carlan SJ, O'Brien WF, Parsons MT, Lense JJ. Preterm premature rupture of membranes: a randomized study of home versus hospital management. *Obstet Gynecol.* 1993 Jan;81(1):61-4.
- 14 - Wing DA, Paul RH, Millar LK. Management of the symptomatic placenta previa: a randomized, controlled trial of inpatient versus outpatient expectant management. *Am J Obstet Gynecol.* 1996 Oct;175(4 Pt 1):806-11.
- 15 - American College of O, Gynecologists, Committee on Practice B-O. ACOG practice bulletin no. 127: Management of preterm labor. *Obstet Gynecol.* 2012 Jun;119(6):1308-17.
- 16 - CNGOF. Recommandations pour la pratique clinique : Prévention de la prématurité spontanée et des conséquences (hors rupture des membranes). Collège national des gynécologues et obstétriciens français 2016:587-608.
- 17 - Gupton A, Heaman M, Ashcroft T. Bed rest from the perspective of the high-risk pregnant woman. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs.* 1997 Jul-Aug;26(4):423-30.
- 18 - Maloni JA, Chance B, Zhang C, Cohen AW, Betts D, Gange SJ. Physical and psychosocial side effects of antepartum hospital bed rest. *Nurs Res.* 1993 Jul-Aug;42(4):197-203.
- 19 - Maloni JA, Kane JH, Suen LJ, Wang KK. Dysphoria among high-risk pregnant hospitalized women on bed rest: a longitudinal study. *Nurs Res.* 2002 Mar-Apr;51(2):92-9.
- 20 - Schroeder CA. Women's experience of bed rest in high-risk pregnancy. *Image J Nurs Sch.* 1996 Fall;28(3):253-8.
- 21 - Maloni JA, Brezinski-Tomasi JE, Johnson LA. Antepartum bed rest: effect upon the family. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs.* 2001 Mar-Apr;30(2):165-73.
- 22 - May KA. Impact of maternal activity restriction for preterm labor on the expectant father. *J Obstet Gynecol Neonatal Nurs.* 1994 Mar-Apr;23(3):246-51.
- 23 - May LE, Scholtz SA, Suminski R, Gustafson KM. Aerobic exercise during pregnancy influences infant heart rate variability at one month of age. *Early Hum Dev.* 2014;90(1):33-8.
- 24 - Clapp JF. Influence of endurance exercise and diet on human placental development and fetal growth. *Placenta.* 2006 Jun-Jul;27(6-7):527-34.

- 25 - Skow RJ, Davenport MH, Mottola MF, Davies GA, Poitras VJ, Gray CE, et al. Effects of prenatal exercise on fetal heart rate, umbilical and uterine blood flow: a systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med.* 2019 53(2):124-33.
- 26 - Jackson MR, Gott P, Lye SJ, Ritchie JW, Clapp JF. The effects of maternal aerobic exercise on human placental development: placental volumetric composition and surface areas. *Placenta.* 1995 1995/03//undefined;16(2):179-91.
- 27 - Salvesen KA, Hem E, Sundgot-Borgen J. Fetal wellbeing may be compromised during strenuous exercise among pregnant elite athletes. *Br J Sports Med.* 2012 Mar;46(4):279-83.
- 28 - Son JS, Zhao L, Chen Y, Chen K, Chae SA, de Avila JM, et al. Maternal exercise via exerkine apelin enhances brown adipogenesis and prevents metabolic dysfunction in offspring mice. *Sci Adv.* 2020;6(16):eaaz0359.
- 29 - Clapp JF, 3rd. Influence of endurance exercise and diet on human placental development and fetal growth. *Placenta.* 2006 27(6-7):527-34.
- 30 - McMurray RG, Katz VL, Meyer-Goodwin WE, Cefalo RC. Thermoregulation of pregnant women during aerobic exercise on land and in the water. *Am J Perinatol.* 1993 Mar;10(2):178-82.
- 31 - Charlesworth S, Foulds HJ, Burr JF, Bredin SS. Evidence-based risk assessment and recommendations for physical activity clearance: pregnancy. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2011;36(Suppl 1):S33-S48.
- 32 - Lokey EA, Tran ZV, Wells CL, Myers BC, Tran AC. Effects of physical exercise on pregnancy outcomes: a meta-analytic review. *Med Sci Sports Exerc.* 1991 Nov;23(11):1234-9.
- 33 - Leet T, Flick L. Effect of exercise on birthweight. *Clin Obstet Gynecol.* 2003 Jun;46(2):423-31.
- 34 - Bisson M, Croteau J, Guinhouya BC, Bujold E, Audibert F, Fraser WD, et al. Physical activity during pregnancy and infant's birth weight: results from the 3D Birth Cohort. *BMJ Open Sport Exerc Med.* 2017 3(1):e000242.
- 35 - da Silva SG, Ricardo LI, Evenson KR, Hallal PC. Leisure-Time Physical Activity in pregnancy and maternal-child health: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials and Cohort Studies. *Sports Med.* 2017 47(2):295-31.
- 36 - Ludwig DS, Currie J. The association between pregnancy weight gain and birthweight: a within-family comparison. *Lancet.* 2010 Sep 18;376(9745):984-90.
- 37 - Metzger BE, Lowe LP, Dyer AR, Trimble ER, Chaovarindr U, Coustan DR, et al. Hyperglycemia and adverse pregnancy outcomes. *N Engl J Med.* 2008;358:1991-2002.
- 38 - Metzger BE, Lowe LP, Dyer AR, Trimble ER, Chaovarindr U, Coustan DR, et al. Hyperglycemia and adverse pregnancy outcomes. *N Engl J Med.* 2008;358:1991-2002.
- 39 - Clapp JF, 3rd. The changing thermal response to endurance exercise during pregnancy. *Am J Obstet Gynecol.* 1991 Dec;165(6 Pt 1):1684-9.
- 40 - Clapp JF, 3rd. Morphometric and neurodevelopmental outcome at age five years of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *J Pediatr.* 1996 Dec;129(6):856-63.
- 41 - Clapp JF, 3rd, Simonian S, Lopez B, Appleby-Wineberg S, Harcar-Sevcik R. The one-year morphometric and neurodevelopmental outcome of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *Am J Obstet Gynecol.* 1998 Mar;178(3):594-9.
- 42 - McCullough LE, Mendez MA, Miller EE, Murtha AP, Murphy SK, Hoyo C. Associations between prenatal physical activity, birth weight, and DNA methylation at genomically imprinted domains in a multiethnic newborn cohort. *Epigenetics.* 2015;10(7):597-606.
- 43 - Eclarinal JD, Zhu S, Baker MS, Piyaathna DB, Coarfa C, Fiorotto ML, et al. Maternal exercise during pregnancy promotes physical activity in adult offspring. *FASEB J.* 2016 30(7):2541-8.
- 44 - Zhu S, Eclarinal J, Baker MS, Li G, Waterland RA. Developmental programming of energy balance regulation: is physical activity more 'programmable' than food intake? *Proc Nutr Soc.* 2016 75(1):73-7.
- 45 - Baker MS, Li G, Kohorst JJ, Waterland RA. Fetal growth restriction promotes physical inactivity and obesity in female mice. *Int J Obesity.* 2015;39:98-104.
- 46 - Son JS, Liu X, Tian Q, Zhao L, Chen Y, Hu Y, et al. Exercise prevents the adverse effects of maternal obesity on placental vascularization and fetal growth. *J Physiol.* 2019 597(13):3333-47.
- 47 - May LE, Glaros A, Yeh HW, Clapp JF, 3rd, Gustafson KM. Aerobic exercise during pregnancy influences fetal cardiac autonomic control of heart rate and heart rate variability. *Early Hum Dev.* 2010 Apr;86(4):213-7.
- 48 - May LE, Scholtz SA, Suminski R, Gustafson KM. Aerobic exercise during pregnancy influences infant heart rate variability at one month of age. *Early Hum Dev.* 2014 Jan;90(1):33-8.
- 49 - Clapp JF, 3rd, Lopez B, Harcar-Sevcik R. Neonatal behavioral profile of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *Am J Obstet Gynecol.* 1999 180(1 Pt 1):91-4.

- 50 - Labonte-Lemoyne E, Curnier D, Elleberg D. Exercise during pregnancy enhances cerebral maturation in the newborn: A randomized controlled trial. *J Clin Exp Neuropsychol.* 2017 39(4):347-54.
- 51 - Borg GAV. Psychosocial bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise.* 1982;14:377-81.
- 52 - Álvarez-Bueno C, Cavero-Redondo I, Sánchez-López M, Garrido-Miguel M, Martínez-Hortelano JA, Martínez-Vizcaino V. Pregnancy leisure physical activity and children's neurodevelopment: a narrative review. *BJOG.* 2018 125(10):1235-42.
- 53 - Jukic AMZ, Lawlor DA, Juhl M, Owe KM, Lewis B, Liu J, et al. Physical activity during pregnancy and language development in the offspring *Paediatr Perinat Epidemiol.* 2013;27(3):283-93.
- 54 - Niño Cruz GI, Ramirez Varela A, da Silva ICM, Hallal PC, Santos IS. Physical activity during pregnancy and offspring neurodevelopment: A systematic review. *Paediatr Perinat Epidemiol.* 2018 32(4):369-79.
- 55 - Robinson AM, Bucci DJ. Maternal exercise and cognitive functions of the offspring. *Cogn Sci (Hauppauge).* 2012;7(2):187-205.
- 56 - Domingues MR, Matijasevich A, Barros AJ, Santos IS, Horta BL, Hallal PC. Physical activity during pregnancy and offspring neurodevelopment and IQ in the first 4 years of life. *PLoS One.* 2014 9(10):e110050.
- 57 - Polańska K, Muszyński P, Sobala W, Dziewirska E, Merecz-Kot D, Hanke W. Maternal lifestyle during pregnancy and child psychomotor development - Polish Mother and Child Cohort study. *Early Hum Dev.* 2015 91(5):317-25.
- 58 - Clapp JF, 3rd. Morphometric and neurodevelopmental outcome at age five years of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *J Pediatr.* 1996;129(6):856-63.
- 59 - Esteban-Cornejo I, Martinez-Gomez D, Tejero-González CM, Izquierdo-Gomez R, Carbonell-Baeza A, Castro-Piñero J, et al. Maternal physical activity before and during the prenatal period and the offspring's academic performance in youth. The UP&DOWN study. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2016;29(9):1414-20.
- 60 - Clapp JF, 3rd, Simonian S, Lopez B, Appleby-Wineberg S, Harcar-Sevcik R. The one-year morphometric and neurodevelopmental outcome of the offspring of women who continued to exercise regularly throughout pregnancy. *Am J Obstet Gynecol.* 1998 178(3):594-9.
- 61 - Akhavan MM, Emami-Abarghoie M, Safari M, Sadighi-Moghaddam B, Vafaei AA, Bandegi AR, et al. Serotonergic and noradrenergic lesions suppress the enhancing effect of maternal exercise during pregnancy on learning and memory in rat pups. *Neuroscience.* 2008;151(4):1173-83.
- 62 - Kim H, Lee SH, Kim SS, Yoo JH, Kim CJ. The influence of maternal treadmill running during pregnancy on short-term memory and hippocampal cell survival in rat pups. *Int J Dev Neurosci.* 2007;25(4):243-9.
- 63 - Gomez-Pinilla F, Zhuang Y, Feng J, Ying Z, Fan G. Exercise impacts brain-derived neurotrophic factor plasticity by engaging mechanisms of epigenetic regulation. *Eur J Neurosci.* 2011;33(3):383-90.
- 64 - Kodomari I, Wada E, Nakamura S, Wada K. Maternal supply of BDNF to mouse fetal brain through the placenta. *Neurochem Int.* 2009 54(2):95-8.
- 65 - Rojas-Vega S, Kleinert J, Sulprizio M, Hollmann W, Bloch W, Strüder HK. Responses of serum neurotrophic factors to exercise in pregnant and postpartum women. *Psychoneuroendocrinology.* 2011 36(2):220-7.
- 66 - Bressa C, Bailén-Andrino M, Pérez-Santiago J, González-Soltero R, Pérez M, Montalvo-Lominchar MG, et al. Differences in gut microbiota profile between women with active lifestyle and sedentary women. *PLoS One.* 2017 12(2):e0171352.
- 67 - Yang Y, Tian J, Yang B. Targeting gut microbiome: A novel and potential therapy for autism. *Life Sci.* 2018 194:111-9.
- 68 - Antony KM, Ma J, Mitchell KB, Racusin DA, Versalovic J, Aagaard K. The preterm placental microbiome varies in association with excess maternal gestational weight gain. *Am J Obstet Gynecol.* 2015 212(5):653.e1-e16.
- 69 - Gschwind R, Fournier T, Kennedy S, Tsatsaris V, Cordier A-G, Barbut F, et al. Evidence for contamination as the origin for bacteria found in human placenta rather than a microbiota. *Plos ONE.* 2020;15(8):e0237232.
- 70 - Adlercreutz EH, Wingren CJ, Vincente RP, Merlo J, Agardh D. Perinatal risk factors increase the risk of being affected by both type 1 diabetes and coeliac disease. *Acta Paediatr.* 2015;104(2):178-84.
- 71 - Black M, Bhattacharya S, Philip S, Norman JE, McLernon DJ. Planned Cesarean delivery at term and adverse outcomes in childhood health. *JAMA.* 2015;314(21):2271-9.
- 72 - Kuhle S, Tong OS, Woolcott CG. Association between Caesarean section and childhood obesity: a systematic review and meta-analysis. *Obes Rev.* 2015;16(4):295-303.

- 73 - Domenjoz I, Kayser B, Boulvain M. Effect of physical activity during pregnancy on mode of delivery. *Am J Obstet Gynecol.* 2014;211(401):e1-e11.
- 74 - Shakeel N, Richardsen KR, Martinsen EW, Eberhard-Gran M, Slinning K, Jenum AK. Physical activity in pregnancy and postpartum depressive symptoms in a multiethnic cohort. *J Affect Disord.* 2018 236:93-100.
- 75 - Vargas-Terrones M, Barakat R, Santacruz B, Fernandez-Buhigas I, Mottola MF. Physical exercise programme during pregnancy decreases perinatal depression risk: a randomised controlled trial. *Br J Sports Med.* 2019 53(6):348-53.
- 76 - O'Hara MW, McCabe JE. Postpartum depression: current status and future directions. *Annu Rev Clin Psychol.* 2013;9:379-407.

Licence

Cet article est en accès libre et a été rédigé dans le cadre d'une licence Creative Commons : « Attribution-NonCommercial-NoDerivs ». Cette licence permet de copier, distribuer et communiquer le matériel par tous moyens et sous tous formats. Les auteurs doivent être cités. L'utilisation commerciale et la diffusion de matériel modifié n'est pas autorisée. © 2021 les auteurs.