

Faculté des sciences de la motricité

Effets du cycle menstruel sur les adaptations induites par un entraînement de musculation

Une revue narrative de la littérature

Auteure : Zoé LEURS

Promotrice : Pr. Louise DELDICQUE

Année académique 2023-2024

Master en kinésithérapie et réadaptation [60.0] - KINE2M

Remerciements

La réalisation de ce mémoire a été possible grâce à la contribution et au soutien de plusieurs personnes à qui je voudrais exprimer mon entière gratitude.

Tout d'abord, j'aimerais vivement remercier ma promotrice de mémoire, Madame Louise Deldicque. Ses corrections et conseils avisés ainsi que sa disponibilité et sa réactivité sans faille m'ont permis de mener à bien ce travail de fin d'étude. Merci Madame pour votre encadrement.

Ensuite, je voudrais remercier mes parents pour leur soutien inconditionnel et leurs encouragements constants tout au long de mon cursus universitaire. Ils ont été des piliers sur lesquels j'ai toujours pu m'appuyer. Merci à ma maman pour son aide précieuse dans la relecture de ce mémoire.

Enfin, j'aimerais adresser un remerciement particulier à mon amie Charlotte avec qui nous avons constitué un binôme studieux. Nous nous sommes soutenues mutuellement tout au long de nos études.

Abréviations

AMPK	Protéine kinase activée par l'AMP
APS	Activité physique et sportive
AR	Récepteur androgénique
ARNm	Acide ribonucléique messager
CM	Cycle menstruel
CIMV	Contraction isométrique maximale volontaire
CSA	Cross sectional area
DHEA	Déhydroépiandrostérone
ER α	Récepteur alpha aux œstrogènes
E1	Estrone
E2	Estradiol
E3	Estriol
FSH	Hormone folliculostimulante
GH	Hormone de croissance
GSK3 β	Glycogène synthase kinase 3 β
hCG	Gonadotrophine chorionique humaine
IGF-1	Facteur de croissance analogue à l'insuline
IMC	Indice de masse corporelle
IRM	Image par résonance magnétique
LCA	Ligament croisé antérieur
LH	Hormone lutéinisante
LPD	Luteal phase defect
MCTT	Menstrual cycle triggered training
mTOR	Voie cible mammalienne de la rapamycine
PGC-1 α	Peroxisome Proliferator-Activated Receptor Gamma Coactivator 1-alpha
PKB	Protéine kinase B (synonyme : Akt)
RAC	Ratio d'activation central
RT	Regular training
SHBG	Globuline liant les hormones sexuelles
TCB	Température corporelle basale
1RM	Une répétition maximale
4E-BP1	4E binding protein

Table des matières

I.	Introduction	1
	A. Généralités	1
	B. CM et hormones sexuelles féminines	2
	C. Outils disponibles pour suivre le CM	6
	D. Adaptations aux entraînements de musculation	7
	E. Régulation hormonale et adaptation	12
II.	Question de recherche	15
III.	Stratégie de recherche documentaire	16
IV.	Développement	17
	<i>Partie 1 : Notions physiologiques</i>	<i>17</i>
	A. Rôles des hormones sexuelles dans les tissus des muscles squelettiques	18
	A.1. Œstrogènes	18
	A.2. Progestérone	18
	A.3. Testostérone	19
	B. Influence du CM sur le métabolisme énergétique et la composition corporelle	19
	<i>Partie 2 : Résultats des études</i>	<i>20</i>
V.	Discussion	41
	A. Discussion des principaux résultats et des variables des études.....	41
	B. Outils pour déterminer les phases du CM : analyse critique	44
	C. Troubles du CM.....	48
	D. Concrètement ? Recommandations pratiques	49
VI.	Conclusion	51
	Bibliographie	52
	Annexes	63

I. Introduction

A. Généralités

La promotion et la participation des femmes à de nombreuses disciplines sportives internationales tendent à s'établir au cours de ces dernières décennies (1).

En 1975, Gamberale et al. (2) ont été les premiers à mettre en évidence les variations de la ventilation pulmonaire lors d'un exercice sous-maximal en fonction des périodes du cycle menstruel (CM) (3). Depuis, le progrès de la recherche sur les performances des athlètes féminines n'a pas suivi le même rythme que l'augmentation exponentielle de leur participation (4, 5).

Dans l'article « *Sport, Exercise and the Menstrual Cycle : Where is the Research ?* » publié en mars 2017 par le British Journal of Sports Medicine, il a été mis en avant que les femmes sont significativement sous-représentées dans les études en médecine du sport et de l'exercice (6).

L'inclusion des femmes dans la recherche en physiologie de l'exercice est essentielle. Néanmoins, il est évident que les chercheurs ne peuvent se contenter de regrouper les hommes et les femmes dans un même groupe (7). Il n'est pas envisageable de supposer que les différences entre les deux sexes n'existent pas ou qu'elles ne sont pas pertinentes au-delà du système reproducteur (8).

L'exclusion systématique des femmes des travaux de recherche en science de l'exercice s'explique par le retard et le manque de connaissances scientifiques concernant les spécificités des réponses et des adaptations à l'entraînement (4).

Ce biais d'exclusion a été souligné par la littérature antérieure (9). Celle-ci indique que le suivi de l'entraînement a principalement été étudié au niveau physiologique chez les hommes (9). Les résultats obtenus ont été appliqués pour élaborer des programmes d'entraînement destinés aux athlètes féminines, sans évaluer leur capacité de transfert (9). Cela suggère qu'une grande partie des informations utilisées est basée sur des recherches menées auprès d'hommes (4).

À l'heure actuelle, il est fondamental de mieux comprendre l'impact du CM et des variations hormonales sur les adaptations induites par l'exercice physique (10).

La méthodologie de recherche doit inclure des participantes à différents moments du CM. Elle ne devrait pas se limiter uniquement à la phase où le profil hormonal est considéré comme « plus faible » et donc plus similaire à l'homme (11).

B. CM et hormones sexuelles féminines

Le CM est le deuxième rythme biologique le plus important, après le rythme circadien (12). Il résulte de l'interaction entre les hormones sexuelles féminines, les hormones hypothalamiques et hypophysaires (12). L'ensemble de ces hormones entraîne divers changements, non seulement au niveau de l'appareil reproducteur féminin, mais aussi dans de nombreux autres tissus de l'organisme (12).

Alors que chez l'homme les hormones sexuelles ne fluctuent pas beaucoup au cours de la vie, ce n'est pas le cas chez la femme (12).

De cette sorte, ces fluctuations peuvent affecter les performances physiques des femmes euménorrhéiques (13). L'euménorrhée est définie comme suit : « *Un cycle normal et régulier, appelé euménorrhée, débute le premier jour des règles, les règles (menstruations) durent normalement environ 4 à 5 jours et la durée du cycle (laps de temps séparant deux périodes de règles) s'élève normalement de 28 à 35 jours.* » (14)

Les hormones sexuelles féminines sont de deux types : peptidiques et stéroïdiennes (15). Elles varient tout au long du CM chez les femmes ayant un cycle naturel (15).

Les gonadotrophines et la prolactine sont des hormones peptidiques qui possèdent des récepteurs membranaires, sont hydrosolubles et circulent librement dans le sang (16).

Les gonadotrophines comprennent l'hormone folliculostimulante (FSH), l'hormone lutéinisante (LH) et la gonadotrophine chorionique humaine (hCG). Celles-ci sont produites par l'hypophyse et le placenta dont la fonction principale est la régulation des gonades (16).

La prolactine est principalement produite par l'hypophyse, toutefois pendant la phase sécrétoire de l'endomètre, les cellules stromales de celui-ci peuvent également en produire. Sa fonction principale est de contrôler le développement mammaire et la lactation (16).

De manière générale, les hormones stéroïdiennes sont classées en cinq catégories selon leurs récepteurs : les glucocorticoïdes, les minéralocorticoïdes, les androgènes, les œstrogènes et les progestatifs (16).

Les hormones stéroïdiennes sexuelles regroupent les androgènes, les œstrogènes, les progestatifs (16). Ce type d'hormones possèdent des récepteurs intracellulaires, sont liposolubles et circulent dans le sang, liées à des protéines non spécifiques (comme l'albumine) ou spécifiques (comme la SHBG – globuline liant les hormones sexuelles) (16).

Les œstrogènes sont au nombre de 3 : estrone (E1), estradiol (E2) et estriol (E3). Ils sont principalement produits dans les ovaires à partir de la testostérone via une enzyme aromatasé dont la quantité est quatre fois supérieure chez les femmes jusqu'à la ménopause (17). Le taux d'œstrogènes est contrôlé par un système de rétroaction complexe impliquant plusieurs hormones dont la LH et la FSH.

La progestérone est produite essentiellement par le corps jaune après l'ovulation. Elle est donc surtout mesurable à mi-cycle, une fois le pic de LH passé.

La testostérone fait partie de la catégorie des androgènes et est, comme la progestérone, majoritairement sous le contrôle de la LH (18).

Chez l'homme, la testostérone constitue la principale hormone sexuelle (19).

Son taux se situe entre 8,7 et 34,7 nmol/L pour les hommes âgés entre 20 et 60 ans (20). Chez la femme, elle sert principalement de substrat à la synthèse d'E2 (16). Dans la circulation sanguine, son taux s'élève de 0,8 à 2,9 nmol/L pour les femmes de 20 à 60 ans (20). Les valeurs citées concernent le taux de testostérone endogène total, c'est-à-dire la testostérone libre (1 % chez la femme et 2 % chez l'homme) additionnée à la testostérone liée aux protéines (principalement albumine et SHBG). Pour les deux sexes, une diminution variable du taux est observée suivant l'âge (20).

Au cours des cycles ovulatoires, les niveaux hormonaux des œstrogènes et de la progestérone fluctuent de manière significative (Fig. 1). Le CM débute le premier jour des règles et est traditionnellement divisé en deux phases distinctes : la phase folliculaire et la phase lutéale, séparées par l'ovulation.

Ces deux phases sont définies par la fonction ovarienne et sont différenciées par les concentrations variables d'œstrogènes et de progestérone (21).

Au début de la phase folliculaire, les niveaux d'œstrogènes et de progestérone sont bas. La libération de FSH et de LH stimule la production d'œstrogènes. Ensuite, dans la phase folliculaire tardive, les niveaux d'œstrogènes augmentent tandis que ceux de la progestérone restent bas. Le pic d'œstrogènes déclenche une augmentation de LH, provoquant ainsi l'ovulation. Après l'ovulation, débute la phase lutéale durant laquelle les œstrogènes et la progestérone sont sécrétés (22).

Le contrôle de la LH sur la testostérone (non représentée sur la Fig. 1) engendre des taux sériques plus faibles pendant la phase folliculaire précoce et plus élevés juste avant l'ovulation (phase folliculaire tardive) (18). Le taux de testostérone croît durant la phase folliculaire et atteint un pic avant l'ovulation dont la valeur est de 1.51 ± 0.56 nmol/L (23).

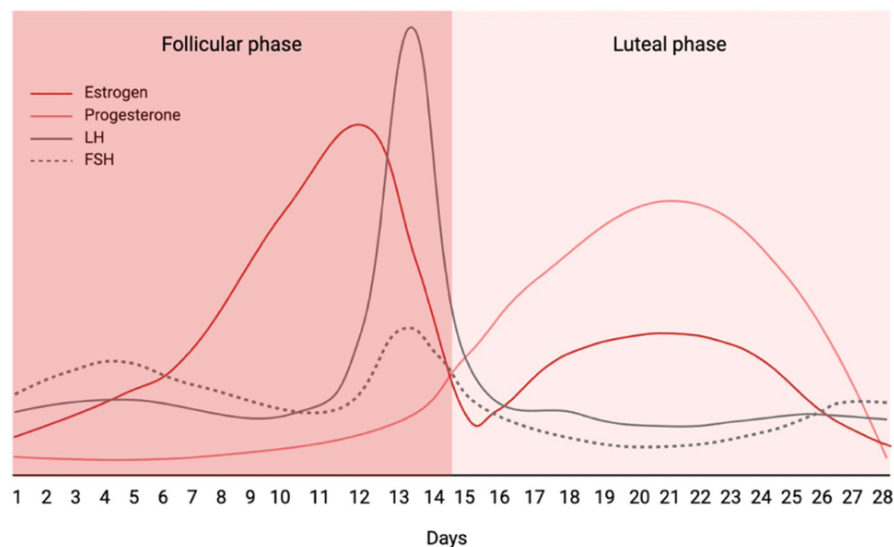


Fig. 1. Fluctuations des hormones sexuelles féminines durant le CM (Kissow et al., 2022).

La figure 1 est basée sur les valeurs moyennes du CM féminin et s'inspire de Janse de Jonge et al. (24), Oosthuyse et Bosch (25), et Meignié et al. (26).

Il est important de souligner que certains auteurs préfèrent décrire le CM en distinguant le début, le milieu et la fin de chaque phase afin de permettre une meilleure différenciation de celles-ci, comme représenté sur la figure 2.

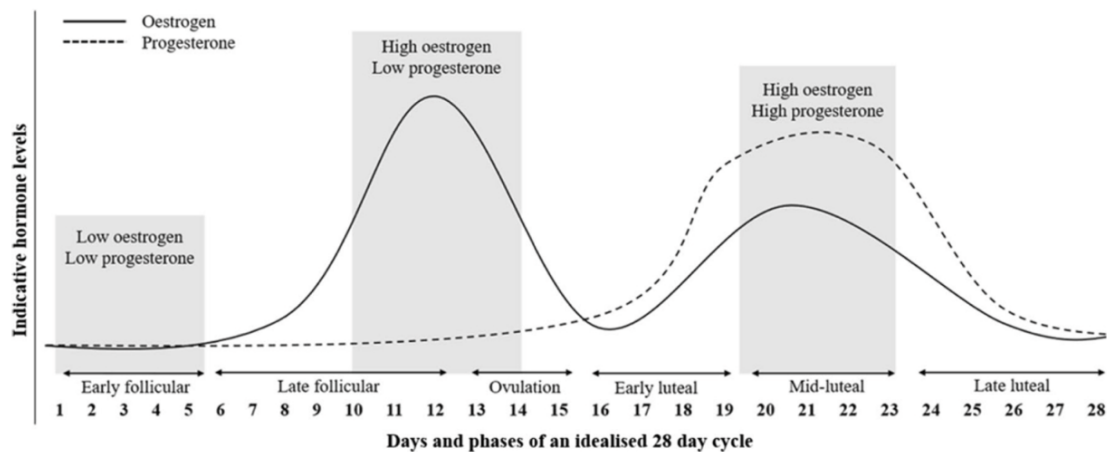


Fig. 2. Représentation des fluctuations hormonales (McNulty et al., 2020) adaptée selon Pitchers et Elliott-Sale.

Ce schéma (Fig. 2) illustre les fluctuations hormonales au cours d'un CM idéalisé de 28 jours, l'ovulation se produisant le 14^{ème} jour. De cette sorte, les phases du CM sont déterminées comme suit : folliculaire précoce/menstruations (jours 1-5), folliculaire tardive (jours 6-12), ovulation (jours 13-15), lutéale précoce (jours 16-19), lutéale moyenne (jours 20-23) et lutéale tardive (jours 24-28) (13).

Chez les femmes euménorrhéiques, ce modèle de physiologie hormonale est largement présent. Cependant, il est primordial de prendre en compte que la concentration des hormones et le moment des événements du cycle présentent une grande variabilité interindividuelle. Ce facteur rend les recherches scientifiques dans ce domaine d'autant plus complexes et difficiles (27).

À noter que, dans la plupart des études, les comparaisons entre les cycles sont effectuées à partir de la phase folliculaire précoce (servant de phase « témoin ») et les autres phases du CM (13). Cette phase est choisie en raison de ses niveaux relativement bas d'œstrogènes et de progestérone, ce qui permet de mettre en évidence les variations hormonales et physiologiques.

C. Outils disponibles pour suivre le CM

Pour comprendre les disparités en matière de performances physiques et de santé chez les femmes, il est crucial de collecter des données détaillées du CM.

Pour ce faire, il existe différentes méthodes. Elles ont notamment été répertoriées dans l'étude « *Methodological Recommendations for Menstrual Cycle Research in Sports and Exercise* » réalisée en 2019 (24).

Tout d'abord, l'échographie folliculaire en série (échographie transvaginale) est la méthode la plus directe pour surveiller l'ovulation. Trois points négatifs ont été relevés par Janse de Jonge et al. (24) : il s'agit d'une technique invasive, chronophage et nécessitant une expertise et un matériel coûteux.

C'est pourquoi, les chercheurs en science de l'exercice privilégient des procédés indirects et non invasifs pour déterminer les phases du CM.

Dans ce contexte, l'utilisation d'un calendrier menstruel permet de répertorier les phases. Le jour 1 correspond au début déclaré des règles et délimite les phases en fonction des modèles décrits par les figures 1 et 2 (24).

Une autre méthode indirecte couramment utilisée est la prise de température corporelle basale (TCB). Chaque matin, le sujet effectue une mesure sublinguale. La précision de cette mesure est de $0,05^{\circ}\text{C}$. Les données de TCB sont enregistrées sur un graphique représentant le CM. Après l'ovulation, beaucoup de femmes constatent une augmentation d'environ $0,3^{\circ}\text{C}$ de leur TCB pendant la phase lutéale (28, 29). Cette méthode permet d'estimer les durées des phases folliculaire, lutéale et ovulatoire.

La mesure du pic de LH est une autre approche non invasive et peu coûteuse pour obtenir une indication plus précise des fluctuations hormonales pendant le CM (24). La femme collecte ses urines à un moment défini de la journée (habituellement le milieu de la matinée). La prise d'échantillons débute le 8^{ème} jour du CM et se termine lorsque la bandelette immergée dans les urines indique la présence de LH urinaire. Dans la plupart des cas, l'ovulation survient dans les 14 à 26 heures suivant le pic de LH urinaire (30). Les kits de LH urinaire très sensibles peuvent détecter des concentrations de LH dans l'urine aussi basses que 22 mUI/ml, alors que les

niveaux normaux de LH varient généralement entre 20 et 100 mUI/ml (31). En outre, les kits d'ovulation permettent de détecter une variation du taux plutôt que de fournir une mesure quantitative précise comme cela peut être le cas via une prise de sang.

La méthode désignée comme le Gold Standard est l'analyse des hormones sériques. La mesure du taux d'œstrogènes et de progestérone dans le sang, nécessite un échantillon d'environ 8 ml de sang veineux (24). Les données rapportées de manière quotidienne permettent de mettre en évidence les pics hormonaux et donc d'établir le tracé individualisé du CM.

Durant la phase folliculaire précoce, un niveau bas d'œstrogènes et de progestérone est attendu. Au cours de la phase folliculaire tardive, le taux d'œstrogènes doit être supérieur à celui de la phase folliculaire précoce et de la phase mi-lutéale. Le taux de progestérone doit être supérieur à celui mesuré dans la phase folliculaire précoce mais inférieur à 16 nmol/L. Lors de la phase lutéale moyenne, le taux de progestérone sera cette fois supérieur à 16 nmol/L (24).

Il est dès à présent important de souligner que le taux de progestérone fixé à 16 nmol/L est une valeur « prudente » notamment renseignée par l'étude de Janse de al. (24). Cependant les valeurs plafonds varient fortement selon les auteurs, cette information n'est pas toujours spécifiquement mentionnée.

D. Adaptations aux entraînements de musculation

Le renforcement musculaire, aussi appelé musculation, est défini *par la capacité d'un individu à appliquer une force dans le cadre d'un ensemble spécifié de mouvements* (32). L'importance de la masse musculaire, de la force et de la fonction métabolique dans la performance et l'activité physique et sportive (APS) ainsi que dans les activités de la vie quotidienne est, à l'heure actuelle, bien établie (33).

Il est avéré que les entraînements de musculation sont une stratégie d'intervention efficace pour améliorer les adaptations musculaires. Ces adaptations comprennent l'augmentation de la force musculaire, de l'hypertrophie musculaire et de l'endurance musculaire locale (34).

La force peut être définie comme la capacité à produire une force maximale contre une résistance externe (35). Ce concept central peut être divisé en trois différentes

catégories en fonction du mode de contraction musculaire et des conditions dans lesquelles la force est mesurée (1).

Premièrement, la force maximale dynamique concerne la force générée pendant les phases concentrique et excentrique (à l'aide de poids libres ou de machines). Celle-ci est déterminée par le poids maximal qu'un individu est capable de soulever pendant une répétition sur une gamme complète de mouvements (1RM) (36). Avant le début du test 1RM, le sujet réalise un échauffement. La charge initiale est définie comme « facile ». Ensuite, à chaque fois que le sujet réussit à soulever une charge, celle-ci est augmentée progressivement. Entre chaque essai, une période de récupération est octroyée. Le nombre d'essais par série ainsi que le temps octroyé pour la récupération entre chaque série est variable selon le protocole.

Deuxièmement, la force maximale isométrique se définit par la force produite par un muscle ou un groupe musculaire sans changement significatif de la longueur du muscle. Concrètement, l'individu exerce une force maximale c'est-à-dire une contraction isométrique maximale volontaire (CIMV) contre un objet, une machine ou dans une position statique tout en maintenant de manière constante la longueur du muscle et l'angle de l'articulation. Elle est souvent exprimée en newton (N) ou en kilogramme (kg) (37).

Troisièmement, la force maximale isocinétique fait référence à la force maximale produite par les muscles lors d'une contraction maintenue à une vitesse constante (38). Elle est exprimée en moment ou couple de force maximale (« peak torque »). L'unité utilisée est le newton mètre (Nm).

La force est influencée par une combinaison de facteurs morphologiques et neuronaux, notamment la surface de section transversale musculaire, la rigidité musculo-tendineuse, le recrutement des unités motrices, le codage de la vitesse ainsi que la synchronisation des unités motrices et de l'inhibition neuromusculaire (36). Lors d'une mesure de la force d'un athlète à un instant T, il est également important de prendre en compte l'historique des contractions musculaires (fatigue, pré/post activation, température, etc.) qui peut grandement influencer l'expression de la force musculaire (39, 40).

L'hypertrophie musculaire fait référence à la croissance du tissu musculaire, qui peut se manifester par une variété d'adaptations structurelles (41).

Communément, c'est la « taille » du muscle ; celle-ci est objectivée par une augmentation de la surface de la section transversale du muscle (CSA en anglais) (42). L'hypertrophie constitue donc l'un des paramètres - mais pas l'unique - influençant la capacité de production de force.

En effet, physiologiquement, une augmentation de la CSA entraîne une augmentation du nombre d'interactions de ponts entre l'actine et la myosine dans les nouveaux sarcomères et ceux déjà existants (36).

Par conséquent, l'augmentation de la section du muscle dans le but d'améliorer ensuite la force, est liée à la potentialisation et aux effets de l'entraînement (43, 44).

L'endurance musculaire locale est définie comme la capacité à résister à la fatigue musculaire lors de l'utilisation d'une résistance sous-maximale (45).

Les adaptations qui sont associées à ce type d'entraînement sont les suivantes : une meilleure capacité tampon et oxydative, une augmentation de la capillarisation et de la densité mitochondriale, ainsi qu'une meilleure activité enzymatique métabolique (46).

L'endurance musculaire implique l'exécution d'une série comprenant le plus de répétitions possibles et ce à une charge fixe. Cette charge est le plus souvent comprise entre 40 et 60 % du 1RM (47).

Le volume d'un entraînement de musculation est constitué par le nombre de séries effectuées, multiplié par le nombre de répétitions, multiplié par la charge (47).

$$\text{Volume} = \text{séries} \times \text{répétitions} \times \text{charge}$$

La charge, autrement dit le poids assigné à un ensemble d'exercices, est probablement la variable la plus importante dans la conception d'un programme d'entraînement de musculation (48).

Depuis de nombreuses années, les recommandations de charge sont généralement prescrites en fonction de ce qui est nommé le « continuum de répétition » également appelé « le continuum force-endurance » (Fig. 3) (46).

Le continuum de répétition, divisé en trois « zones », suggère que le nombre de répétitions effectuées à une charge fixe entraîne des adaptations spécifiques (47).

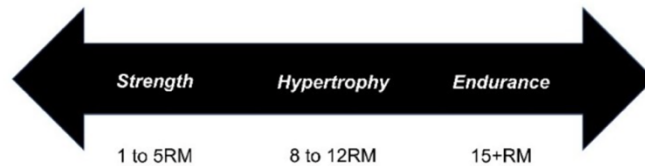


Fig. 3. Schéma du continuum de répétition (Schoenfeld et al. 2021).

En 2021, une étude (47) a proposé une révision de ce paradigme en nuancant quelque peu certains points.

À propos de la « zone de force », la littérature actuelle soutient ce qui a été établi par le continuum de répétition. Pour optimiser l'augmentation de la force, un programme à faibles répétitions et charges lourdes est préconisé.

Concrètement : 1 à 5 répétitions par série avec 80 à 100 % du 1RM (47).

Concernant l'optimisation des gains hypertrophiques, le continuum de répétition suggérerait 8 à 12 répétitions par série avec 60 à 80 % du 1RM (47).

Or, l'ensemble de la littérature actuelle indique qu'une croissance similaire de la CSA peut être obtenue à travers une large plage de charges dès que celles-ci sont supérieures à 30 % du 1RM (49). Cela suggère donc qu'il n'existe pas de zone « d'hypertrophie optimale ».

Les données d'un effet lié à la charge sur l'endurance musculaire locale restent équivoques et les bénéfices rapportés semblent plus spécifiques aux muscles des membres inférieurs.

Cette étude (47) signale également un nombre limité de recherches incluant une population féminine. Or, les femmes ont une plus grande capacité à résister à la fatigue (50), et de ce fait il est concevable qu'il y ait des adaptations spécifiques selon le sexe sur l'ensemble de ces paradigmes.

Les entraînements de musculation sont une composante essentielle du programme d'entraînement des athlètes de sexe masculin et féminin. Ceux-ci contribuent à améliorer la force, la puissance et permettent également de réduire le risque de blessures (51). La réponse d'un système physiologique à un exercice de musculation est composée de facteurs non modifiables (âge, sexe et génétique) et modifiables (type d'exercices, nutrition et état d'entraînement). Ces deux différents types de facteurs sont intégrés par des réponses systémiques ; signalisation moléculaire, réponses génétiques et métabolisme des protéines (52).

Les muscles squelettiques représentent environ 40 % du poids total du corps et contiennent 50 à 75 % des réserves protéiques corporelles (53).

De cette sorte, il s'agit du principal site de stockage des nutriments, d'utilisation de l'énergie et de locomotion (54). Ceux-ci sont des producteurs de force qui, elle-même, dépend de la vitesse du mouvement et de la longueur des fibres musculaires (longueur des sarcomères) (55).

Les fibres musculaires squelettiques sont généralement classées selon le temps nécessaire pour arriver à la tension maximale et la valeur de la tension maximale. Les fibres de « type I » sont définies comme étant à contraction lente et à tension maximale basse et celles de « type II » comme étant à contraction rapide et à tension maximale élevée (56).

L'hyperplasticité du muscle squelettique permet une adaptation constante aux différentes conditions physiologiques (52).

Ces possibilités d'adaptation sont possibles par l'activation de stimuli tels que l'activité contractile (intensité, durée, fréquence et type de fibres), les conditions de charge (poids, nombre de répétitions/séries et vitesse d'exécution), l'apport de substrat ou les facteurs environnementaux (57).

De manière générale, la masse musculaire dépend de l'équilibre net entre la synthèse et la dégradation des protéines.

Ces deux processus sont sensibles à des facteurs tels que l'exercice physique, l'équilibre hormonal, l'état nutritionnel, les blessures ou les maladies (53).

L'exercice physique induit des changements dans la masse musculaire squelettique grâce à la modulation de l'équilibre protéique et à la régulation du devenir des cellules satellites (58).

À la page suivante, (Fig. 4) ; un résumé des principaux effets de l'exercice physique sur la masse musculaire squelettique décrit par Francaux et Deldicque (58).

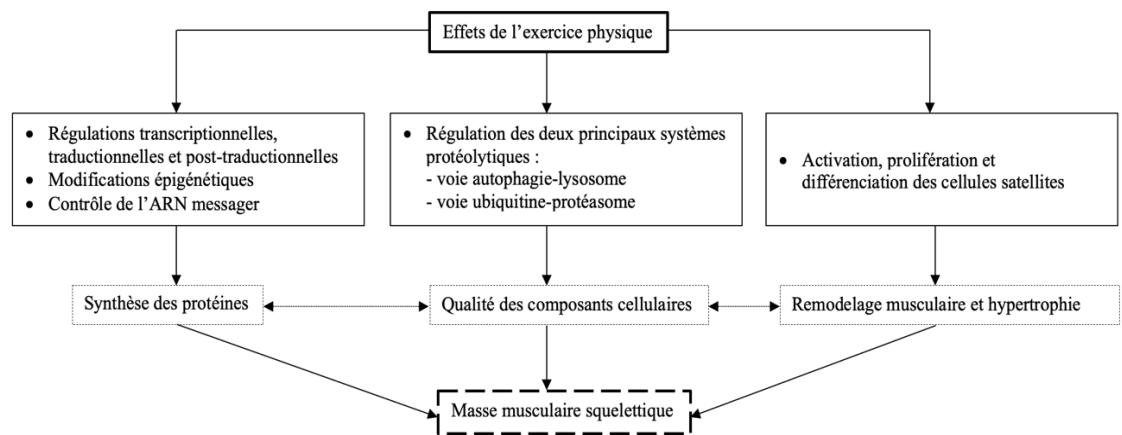


Fig. 4. Principaux effets de l'exercice physique sur la masse musculaire squelettique.

E. Régulation hormonale et adaptation

La croissance et le développement cellulaire sont fortement dépendants des régulations hormonales. Pour plus de détails, le·la lecteur·rice est notamment invité·e à se référer aux articles (19) et (58).

Trois hormones clés sont considérées comme les géants anabolisants de la croissance et de la réparation cellulaire : la testostérone, la superfamille de l'hormone de croissance (GH) et la superfamille du facteur de croissance analogue à l'insuline (IGF-1) (59).

Il a été montré que les exercices de musculation augmentent la concentration de ces hormones qui activent plusieurs voies de signalisation dans le muscle (19).

L'une des adaptations induite par les entraînements de musculation (voir point D) est l'hypertrophie musculaire. Les mécanismes par lesquels celle-ci est induite sont détaillés dans la figure 5.

Les entraînements de musculation favorisent l'hypertrophie en augmentant de manière soutenue la synthèse des protéines musculaires (60).

Cette augmentation est le résultat d'une combinaison de facteurs : la surcharge mécanique induite par l'exercice et la libération concomitante d'hormones telles que les androgènes et IGF-1 (61).

La synthèse des protéines fonctionne comme un système de balance. Si la synthèse dépasse la dégradation, la masse musculaire augmente. Inversement, si la synthèse des protéines est inférieure à leur dégradation, il y a perte de masse musculaire. (58)

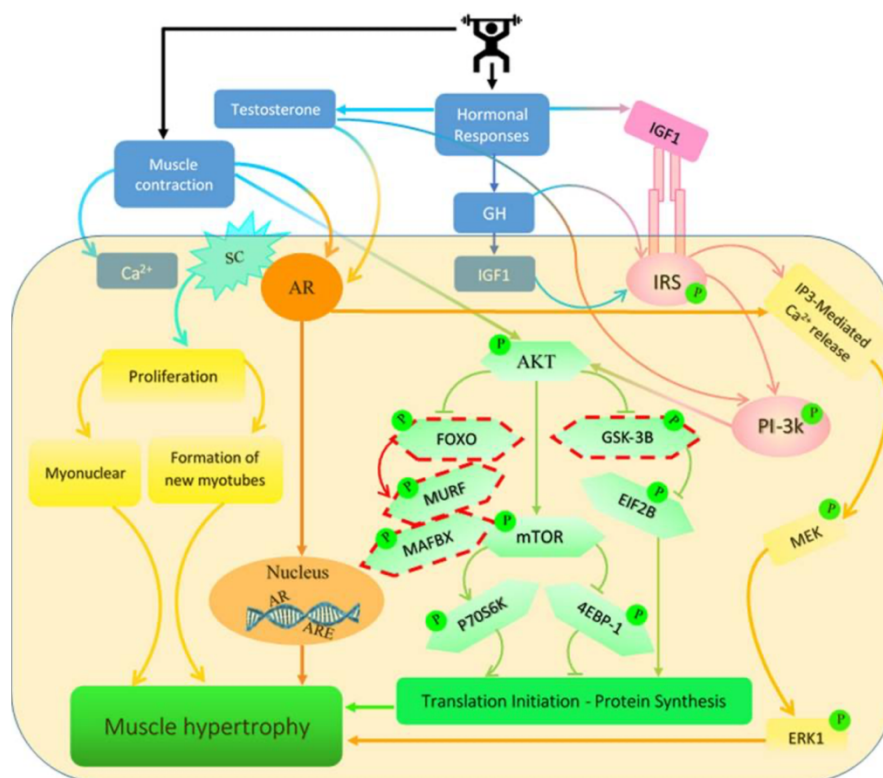


Fig. 5. Voies de signalisation régulées par la testostérone, la GH et IGF-1.

SC = cellule satellite ; AR = récepteur des androgènes ; IRS = substrat du récepteur à l'insuline ; ARE = élément de réponses aux androgènes. Le contour en pointillé représente les protéines inhibitrices. (Gharahdaghi et al. 2021)

La testostérone systémique est captée par le muscle en se liant aux récepteurs androgéniques (AR) membranaires ou cytoplasmiques. En conséquent, cela stimule la signalisation myocellulaire et modifie l'expression de milliers de gènes (59, 62). La plupart des gènes sont impliqués dans la régulation de la structure du muscle squelettique, du type de fibre (63), du métabolisme intramyocellulaire (64) et de la transcription de l'acide ribonucléique messager (ARNm) (65).

La GH est sécrétée par les cellules somatotrophes de l'hypophyse antérieure. Elle est sécrétée 6 à 8 fois par jour et sa libération est négligeable en dehors de ces poussées (19). Les exercices de musculation sont les stimuli les plus puissants pour la libération de GH (66). Les principaux effets anabolisants de la GH sur le muscle squelettique sont indirects. D'une part, elle induit la production hépatique d'IGF-1 ce qui déclenche la voie IGF1-Akt-mTOR et d'autre part elle stimule la protéine kinase activée par l'AMP (AMPK) dont l'une des nombreuses fonctions est, entre autres, de réguler l'expression de la peroxisome proliferator-activated receptor

gamma coactivator 1-alpha (PGC-1 α) qui joue un rôle central dans la régulation du métabolisme énergétique cellulaire (67).

L'activation d'Akt (nommée également protéine kinase B (PKB) favorise la croissance et le maintien du tissu squelettique en régulant la phosphorylation de divers substrats impliqués dans la synthèse des protéines musculaires.

Parmi ceux-ci, il existe la voie cible mammalienne de la rapamycine (mTOR) dont ses cibles en aval de la cascade sont entre autres la protéine 4E-binding protein 1 (4E-BP1), la kinase p70S6, la glycogène synthase kinase 3 β (GSK3 β) et FOXO, un facteur de transcription régulant l'inhibition de la synthèse des protéines (67).

L'IGF-1 seule, c'est-à-dire en l'absence de GH, peut également favoriser la croissance musculaire en stimulant la voie IRS1/Akt et AMPK (68) (en rose sur la Fig. 5).

Les cellules satellites sont une population de cellules souches, situées dans les fibres musculaires, responsables du développement et du renouvellement de celles-ci (69). Sans stimulation particulière, ces cellules sont dans une situation dite de « repos ». Les entraînements de musculation, par la contraction musculaire, induisent une stimulation de l'activation, de la prolifération et de la différenciation de ces cellules pouvant entraîner un remodelage musculaire et une hypertrophie (58). En outre, ces cellules possèdent des récepteurs aux androgènes. En se liant à ces récepteurs, les androgènes (dont la testostérone) augmentent la myogenèse en augmentant l'expression d'IGF-1 dans les cellules satellites, ce qui en outre stimule la voie IGF1-Akt-mTOR (70).

De manière générale, étant donné que les schémas hormonaux sont physiologiquement distincts entre l'homme et la femme, cela complexifie la clarté des effets isolés des hormones sexuelles notamment sur les muscles squelettiques. Ce point sera abordé dans la partie 1 du développement de cette revue.

L'ensemble des notions développées dans l'introduction ont été abordées afin de permettre la compréhension du sujet de ce mémoire.

La question de recherche sera quant à elle explicitée dans la section suivante.

II. Question de recherche

Si le CM est considéré comme une variable à part entière, au même titre que d'autres paramètres influençant les entraînements de musculation, il devient alors pertinent de s'interroger sur l'impact du paramètre « CM » sur les réponses adaptatives après un entraînement.

C'est ainsi que l'intention première de cette revue narrative est de tenter de répondre à la question de recherche suivante : « Faut-il tenir compte du cycle menstruel pour optimiser les adaptations induites par un entraînement de musculation ? ».

Il est donc essentiel de comprendre dans quelle mesure la force et l'endurance varient au cours du CM et si ces fluctuations peuvent influencer les adaptations musculaires résultant d'un programme d'entraînement de musculation.

Autrement dit, il s'agit d'examiner si les variations hormonales au cours du CM peuvent entraîner des modifications de la performance à l'entraînement, et par conséquent des adaptations musculaires.

La première partie de cette revue a pour but de répertorier brièvement le rôle et l'influence des différentes hormones sexuelles féminines sur les muscles squelettiques.

Dans la seconde partie, il s'agira d'une part d'examiner les études qui ont mis en évidence la façon dont varient, ou non, la force musculaire et l'endurance musculaire au cours du CM.

D'autre part, les études relatant d'un potentiel impact de cette variation sur ces adaptations induites par les entraînements de musculation, c'est-à-dire sur la force musculaire, l'endurance musculaire et l'hypertrophie.

La stratégie de recherche documentaire appliquée pour cette partie est détaillée dans le point suivant.

III. Stratégie de recherche documentaire

Afin d'examiner la question de recherche, ce travail de fin d'étude prend la forme d'une revue narrative.

Après formulation de la question de recherche, des mots-clés ont été extraits : « menstrual cycle », « resistance training », « muscular strength », « phase-based », « luteal phase », « follicular phase ». Ces mots-clés, ainsi que des variantes et synonymes ont été introduits dans plusieurs bases de données électroniques : PubMed, Embase, Cochrane, Google Scholar et Scopus.

Après avoir parcouru de nombreux articles, certains auteurs étaient fréquemment cités. Des recherches dans leurs publications respectives m'ont permis de retenir d'autres articles. Ensuite, pour affiner la sélection des articles, des critères d'éligibilité (inclusion / exclusion) ont été définis.

Les critères PICO (*Population, Intervention, Comparaison, Outcome, Study design*) ont été établis afin de répondre à la question de recherche.

Les études correspondant à ceux-ci ont été incluses.

P : La population étudiée cible des femmes ayant des CM réguliers (euménorrhéiques) qui ne sont ni ménopausées, ni prépubères. Ces femmes ne doivent pas utiliser de contraceptifs. Ce critère doit être explicitement mentionné.

I : Les études incluses ont soit appliqué un programme de renforcement musculaire en fonction des phases du CM pour maximiser les adaptations, soit analysé les variations de la force et de l'endurance musculaire selon les phases du CM.

C : Une comparaison est effectuée entre les différentes phases du CM : folliculaire précoce / tardive, ovulatoire, lutéale précoce / moyenne / tardive.

O : Toutes les mesures concernant la force maximale, l'endurance musculaire ou l'hypertrophie ont été retenues.

S : Tous les types d'études sont inclus sans restriction spécifique sur la méthodologie utilisée.

Quant aux critères d'exclusion, ils sont constitués de toutes les études comparant un groupe sous contraception et un groupe ayant un CM naturel. N'étant que très peu nombreuses, n'apportant pas de plus-value à cette revue, et dans l'optique de relater des informations récentes, les études publiées avant 2000 ont été exclues. Seule, l'étude de Reis et al. (71), publiée en 1995 a été incluse. Cette étude est la première à proposer un protocole expérimental méthodologiquement intéressant.

Les études ont été sélectionnées par une seule examinatrice.

In fine, 20 articles, ont été inclus et seront explicités dans la deuxième partie de ce travail.

IV. Développement

Partie 1 : Notions physiologiques

Actuellement, l'impact des variations hormonales au cours du CM sur les performances liées à la force musculaire est largement débattu dans la littérature. Les variations hormonales pourraient influencer les adaptations physiologiques des muscles squelettiques dans les domaines de l'hypertrophie et du développement de la force (72).

De plus, des recherches soulignent que l'augmentation de la force maximale est associée à une diminution des taux de blessures. De ce fait, les athlètes féminines ayant une force maximale plus élevée sont souvent moins sujettes aux blessures (73, 74).

Les auteurs d'une revue systématique publiée en 2024 (1), axée sur la force maximale, rapportent que selon la littérature actuelle, 4 facteurs principaux peuvent influencer le développement de cette force.

Ceux-ci constituent les fondements biologiques et neurophysiologiques de l'influence des phases du CM sur la force maximale. Il s'agit des hormones sexuelles, du métabolisme énergétique, de la fonction neuromusculaire et de la composition corporelle.

A. Rôles des hormones sexuelles dans les tissus des muscles squelettiques

A.1. Œstrogènes

La déhydroépiandrostérone (DHEA) est un précurseur des œstrogènes et de la testostérone qui, par son action, produit un effet excitateur sur plusieurs neurotransmetteurs. Les œstrogènes ont un effet neuro-excitateur. Ils influencent positivement le potentiel d'activité, la production de force et la performance (75). Cet effet positif sur l'augmentation de la production de force suggère donc que le muscle squelettique est un tissu sensible au taux d'œstrogènes (76). En effet, dans les tissus des muscles squelettiques, il existe des récepteurs (récepteurs alpha aux œstrogènes (ER α)) sensibles au niveau d'œstrogènes circulants (77).

Les œstrogènes activent de nombreuses voies de signalisation dans le muscle, y compris l'AMPK, qui régule la transcription (78, 79). De plus, les œstrogènes activent les cellules satellites (78, 80) et inhibent le catabolisme des protéines (81). Les exercices de renforcement musculaire accroîtraient de façon aiguë l'activité de l'enzyme aromatasase, ce qui entraînerait une augmentation de la biosynthèse des œstrogènes à partir des androgènes (82).

Chez la femme, l'augmentation de la testostérone induite par les exercices de musculation impliquerait donc une augmentation du taux d'œstrogènes (83).

En outre, il a été montré que le nombre de ponts actine-myosine est directement influencé par la concentration en œstrogènes (77). Lors des menstruations, le niveau d'œstrogènes étant fortement diminué, le nombre de têtes de myosine liées à l'actine est réduit, ainsi la capacité du muscle à générer de la force le serait également (84). Durant la phase folliculaire tardive, une amélioration de la force pourrait donc être attendue (84).

A.2. Progestérone

La progestérone inhibe l'excitabilité corticale et a donc une influence négative sur le système nerveux central (75). À contrario des œstrogènes, celle-ci activerait le catabolisme des protéines (81). Une diminution des performances de force peut être attendue au cours de la phase lutéale, caractérisée par un taux plus élevé de progestérone et un peu plus faible d'œstrogènes (84). Le taux élevé de progestérone pourrait également contrecarrer les effets sensibilisateurs des œstrogènes sur les muscles, réduisant ainsi les bénéfices du renforcement musculaire (85).

Il est concevable que les œstrogènes aient un effet inotrope sur les capacités liées à la force musculaire (21). De même, il est envisageable que l'action thermogénique de la progestérone qui entraîne une élévation de la température centrale et de la peau pendant la phase lutéale (86), puisse améliorer la vitesse de conduction nerveuse (87) et la co-contraction antagoniste (88).

Par conséquent, cela pourrait potentiellement avoir un impact positif sur la performance lors des tâches impliquant une force explosive.

A.3. Testostérone

Les performances de la force musculaire peuvent également être impactées par la modification de la testostérone disponible durant le CM. Certaines études (89, 90) montrent que pendant la phase ovulatoire il y a un pic de testostérone.

Cela peut améliorer les performances physiques par le biais d'une meilleure activation neuronale et améliorer les propriétés électrophysiologiques et contractiles du muscle ainsi que le fonctionnement du système moteur (91).

B. Influence du CM sur le métabolisme énergétique et la composition corporelle

Le métabolisme énergétique peut également être affecté par les variations des concentrations hormonales pendant le CM, impactant également les possibilités d'adaptations d'un entraînement de musculation.

Les œstrogènes favorisent l'utilisation des graisses, un processus contribuant à épargner les réserves de glycogène musculaire (92). Pendant la phase mi-lutéale, le métabolisme des lipides est plus important que durant la phase folliculaire précoce. De ce fait, l'utilisation majoritaire de ces substrats énergétiques pourrait favoriser les performances d'endurance (93).

Par ailleurs, au cours de la phase folliculaire tardive, la sensibilité à l'insuline augmente (94) et favorise l'utilisation de glucose, ce qui améliore les exercices intensifs et de courte durée (95).

Cela indique que, durant la phase lutéale, la capacité du corps à capter le glucose nécessaire pour atteindre une force maximale peut être réduite.

De plus, il est établi que les œstrogènes activent les voies insuline/IGF-1 (96) et PI3K/Akt (97). Elles peuvent alors potentiellement renforcer les mécanismes de régulation de la synthèse protéique (98).

Un autre point à souligner est l'augmentation notable de la masse corporelle et de l'eau corporelle totale de la phase folliculaire à la phase lutéale (99, 100).

Cette augmentation de la masse corporelle durant la phase lutéale pourrait être attribuée à la diminution de la concentration en insuline pendant l'augmentation de la concentration de progestérone (101).

Prendre en compte ces mécanismes pour établir une périodisation des entraînements de musculation en fonction du CM serait-il bénéfique pour maximiser les adaptations de musculation chez les femmes euménorrhéiques ?

La section suivante (partie 2) présente les résultats des 20 études sélectionnées. Celles-ci ont été classées dans les tables en fonction de leur nature descriptive ou interventionnelle, ainsi que de leur impact neutre, favorable ou défavorable sur les adaptations ou variations de la force.

Partie 2 : Résultats des études

Table 1.

*Études **descriptives ne montrant pas d'influence du CM sur les variations de la force et de l'endurance musculaire au cours du CM***

Études	Participant·es	Détermination CM Phases CM comparées	Types d'adaptation Types de contraction Groupes musculaires	Résultats
Arazi et al. (2018) (102)	n = 20 ± 26 ans Modérément actives	Échantillon sanguin Folliculaire Ovulation Lutéale moyenne	Force max. Endurance musculaire. Dynamique Développé couché Presse	Pas de différence significative
Elliott et al. (2003) (103)	n = 7 ± 25 ans Bonne santé	Échantillon sanguin Échantillon urinaire TCB Folliculaire précoce Lutéale moyenne	Force max. Isométrique 1 ^{er} interosseux dorsal	Pas de différence significative
Fridén et al. (2003) (104)	n = 10 ± 25 ans Modérément actives	Échantillon sanguin Folliculaire précoce Ovulation Lutéale moyenne	Force max. Endurance musculaire. Isométrique Isocinétique Muscles avant-bras Extenseurs genou	Pas de différence significative

Hoeger et al. (2009) (105)	n = 20 ± 20 ans Bonne santé	Échantillon urinaire Folliculaire moyenne Lutéale moyenne	Endurance musc. Isométrique Fléchisseurs coude	Pas de différence significative
Janse de Jonge et al. (2001) (106)	n = 15 ± 29 ans Bonne santé	Échantillon sanguin Folliculaire précoce Folliculaire tardive Lutéale moyenne	Force max. Endurance musc. Isométrique Isocinétique Fléchisseurs et extenseurs genou Muscles avant-bras	Pas de différence significative
Köse (2018) (107)	n = 10 ± 21 ans Athlètes kickboxing	Calendrier menstruel Folliculaire précoce Folliculaire moyenne Lutéale moyenne	Force max. Endurance musc. Dynamique Développé couché	Pas de différence significative
Kubo et al. (2009) (108)	n = 8 ± 22 ans Sédentaires	Échantillon sanguin Menstruelle Ovulation Lutéale	Force max. Isométrique Extenseurs genou et fléchisseurs plantaires	Pas de différence significative
Montgomery et al. (2010) (109)	n = 61 ± 21 ans Modérément actives	Échantillon sanguin Folliculaire précoce Lutéale précoce Lutéale moyenne	Force max. Isométrique Fléchisseurs et extenseurs genou	Pas de différence significative
Romero-Moraleda et al. (2019) (110)	n = 13 ± 31 ans Triathlètes	Échantillon urinaire Folliculaire précoce Folliculaire tardive Lutéale moyenne	Endurance musc. Dynamique Demi-squat	Pas de différence significative

Les neuf études reprises dans la table 1 n'ont pas trouvé d'effets significatifs de la variation des hormones sexuelles féminines sur une modification des valeurs de la force ou de l'endurance musculaire.

Deux d'entre-elles (102, 107) ont déterminé la force maximale en mesurant le 1RM et l'endurance musculaire évaluée respectivement à 60 % du 1RM et 65 % du 1RM. Pour ce faire, l'exercice du développé couché a été pratiqué. Les 20 participantes de l'étude d'Arazi et al. (102) ont réalisé ces tests au cours de la phase folliculaire (3 à 8 jours), de la phase ovulatoire (12 à 14 jours) et de la phase lutéale moyenne (18 à 25 jours). Des échantillons sanguins ont été prélevés pour mesurer les taux de FSH et de LH. Les variations au cours du CM correspondent à celles attendues.

Köse (107) a ciblé la phase folliculaire précoce (2^{ème} et 3^{ème} jour), folliculaire moyenne (8^{ème} et 9^{ème} jour) et lutéale moyenne (22^{ème} et 23^{ème} jour) chez 10 athlètes pratiquant le kickboxing. Contrairement à l'étude d'Arazi et al. (102), aucune mesure n'a été effectuée au cours de la phase ovulatoire. Il est à noter que, dans l'étude de Köse (107), les modalités de détermination des phases du CM ne sont pas clairement définies, ce qui pourrait laisser supposer que les phases ont été rapportées par les participantes. Ces deux études ont comparé toutes les phases du CM entre elles et ne rapportent aucune différence significative.

La force maximale de préhension a été évaluée dans les études de Fridén et al. (104) et Janse de Jonge et al. (106) au cours de trois phases du CM, confirmées en mesurant l'E2, la progestérone, la LH et la FSH par échantillon sanguin.

Fridén et al. (104) ont collecté les données au cours de 2 CM consécutifs durant les phases folliculaire précoce, ovulatoire et lutéale moyenne et ce sur un groupe de 10 femmes modérément actives.

L'équipe de Janse de Jonge et al. (106) mentionne des données récoltées chez 15 sujets en bonne santé au cours des phases folliculaire précoce, folliculaire tardive et lutéale.

Cette dernière étude a retenu le score le plus élevé sur 5 contractions maximales espacées de 2 minutes de récupération, tandis que Fridén et al. (104) ont opté pour la meilleure valeur des 3 trois essais. Les deux études précisent que les mesures ont été prises avec le bras le long du corps.

Elliott et al. (103) ont mesuré la force maximale du premier interosseux dorsal sur 7 participantes. Afin de déterminer le taux de testostérone, d'E2, et de progestérone, un échantillon sanguin a été prélevé. Ce prélèvement a été réalisé avant chaque test, au jour 2 de la phase folliculaire précoce et au jour 21, soit 7 jours après l'ovulation. L'ovulation a été déterminée par la TCB tout au long du mois précédent les tests et par l'utilisation d'un kit d'ovulation permettant de déterminer le pic de LH. De manière à éliminer la composante de la variation circadienne, tous les tests ont été effectués au même moment de la journée. Les auteurs spécifient leur choix du muscle premier interosseux dorsal car c'est le seul muscle qui produit une abduction de l'index. De cette manière, la force mesurée est totalement isolée d'autres groupes musculaires. De plus, il a été montré que la force musculaire de ce muscle n'est pas

affectée par l'un des deux côtés du corps. Le côté dominant a été testé à l'aide d'un dynamomètre digital. Préalablement à la prise des mesures, un hot-pack a été appliqué sur l'avant-bras et la main. Les participantes ont effectué 3 contractions isométriques sous-maximales, suivies de 3 minutes de repos avant d'exécuter 3 contractions isométriques maximales. Un repos d'une minute a été octroyé entre chaque contraction maximale. Il est important de signaler que le muscle premier interosseux dorsal a été soumis à des impulsions électriques durant chaque contraction. Les auteurs ont conclu qu'aucune corrélation significative entre les variations hormonales mesurées et la force n'a été observée à travers les différentes phases du CM.

La dernière étude réalisée sur les membres supérieurs, plus précisément sur les muscles fléchisseurs du coude, a été menée par Hoeger et al. (105). Ils n'ont pas souligné de différence concernant l'endurance musculaire entre la phase folliculaire moyenne (5 à 7 jours après le début des règles) et lutéale moyenne (6 à 8 jours après l'ovulation). En effet, le temps nécessaire à l'échec de la tâche d'une contraction à 25 % de la contraction maximale est similaire pour les 2 phases du CM. Les phases du CM des 20 volontaires ont été déterminées au moyen d'un échantillon urinaire. La contraction maximale volontaire a été mesurée lors d'une séance de familiarisation. Durant les deux sessions de tests, les participantes ont maintenu une contraction isométrique à 25 % de la contraction maximale et ce jusqu'à l'échec. Un capteur de force a été utilisé pour mesurer la force isométrique. L'avant-bras est positionné horizontalement, le coude fléchi à 90° avec le poignet en position neutre. Une diminution de 10 % de la force cible pendant 3 secondes consécutives sur 5 a déterminé l'échec de la tâche. Au cours de celle-ci, les sujets ont reçu des encouragements verbaux et des feedbacks de la force développée.

Les six études suivantes (102, 104, 106, 108-110) se sont concentrées sur les variations de la force au niveau des membres inférieurs.

Arazi et al. (102) précédemment cités, ont également évalué les variations de la force et de l'endurance musculaire en demandant aux sujets de réaliser des exercices sur la presse. À nouveau, aucune différence significative n'a été enregistrée entre les trois phases du CM.

Romero-Moraleda et al. (110) ont également fait le choix de se focaliser sur un exercice dynamique c'est-à-dire, l'exercice du demi-squat sur la machine Smith. Cette étude a rassemblé 13 femmes euménorrhéiques ayant pratiqué la musculation durant au moins 6 mois auparavant et étant familières avec l'exercice du demi-squat. Tout au long de la période expérimentale, les participantes n'ont pas modifié leurs habitudes d'entraînement, excepté la veille des tests où seul un entraînement de faible intensité pouvait être réalisé.

Les données ont été récoltées le 2^{ème} jour des phases folliculaire précoce, folliculaire tardive et mi-lutéale. Afin de déterminer ces trois phases, les athlètes ont mesuré quotidiennement pendant 30 jours, leur masse corporelle, leur température tympanique et leur concentration de LH dans les urines. Deux semaines avant le début de la phase expérimentale, elles ont effectué le protocole de tests afin de minimiser l'effet d'apprentissage. Le 1RM a été mesuré sur la machine Smith une semaine avant le début de la période expérimentale de manière à standardiser les charges de chacune. Le test 1RM a débuté avec des charges estimées à 20 % de celui-ci. À chaque tentative, un maximum de 5 essais a été octroyé.

Les chercheurs ont contrôlé la technique d'exécution à chaque tentative. Les données suivantes ont été mesurées : le déplacement de l'haltère, la vitesse moyenne et maximale, la puissance moyenne et maximale ainsi que la force moyenne et maximale. Ces données ont été enregistrées avec un codeur rotatif uniquement durant la phase concentrique du mouvement.

Concrètement, à chaque phase du CM, les participantes ont effectué deux tentatives de demi-squat à une vitesse maximale avec des charges de 20, 40, 60 et 80 % du 1RM. Deux minutes de repos leur ont été accordées entre chaque essai et 3 minutes entre chaque charge.

La force moyenne mesurée en N n'a pas varié au cours du CM. Les auteurs ont suggéré que la force musculaire n'est pas affectée par les différentes phases du CM. Cette étude a été la première à explorer les effets du CM sur la force en utilisant des charges d'intensité croissante.

Kubo et al. (108) et Montgomery et al. (109) ont analysé la force isométrique maximale. Dans la première étude, les données ont été récoltées sur 8 participantes à tendance sédentaire au cours de la phase menstruelle, ovulatoire et lutéale moyenne. Deux mois avant le début des tests, les phases du CM ont été estimées

sur base de la TCB de chaque volontaire. Lors des périodes de tests, un échantillon sanguin a été prélevé (LH, E2, progestérone) pour confirmer les phases.

La force isométrique maximale de l'extension du genou et de flexion plantaire a été déterminée à l'aide d'un dynamomètre. Toutes les mesures ont été réalisées sur le membre inférieur droit dans une position contrôlée et reproductible. Chaque tâche a été répétée 2 à 3 fois avec un intervalle de repos de 3 minutes entre les essais et la valeur maximale a été retenue.

Il n'en ressort aucune différence significative entre les phases du CM.

Montgomery et al. (109) ont conclu que la force isométrique maximale développée par le couple des fléchisseurs et des extenseurs du genou n'est pas impactée par les variations hormonales. Cette étude a considéré deux groupes. Un premier groupe de 29 sujets pour lequel la phase folliculaire précoce a été comparée à la phase lutéale précoce. Quant au second groupe de 32 sujets, la comparaison a été établie entre la phase folliculaire précoce et la lutéale moyenne.

Afin d'établir le profil hormonal de chaque participante, les concentrations d'E2, de progestérone et de testostérone dans le sang ont été mesurées durant deux mois avant le début des expériences et ce, 6 matins après le début des règles et 8 matins après un test d'ovulation positif. Les valeurs de références obtenues permettent de déterminer la phase dans laquelle se trouvent les sujets au moment du test. Sur base de cela, elles seront intégrées soit dans le premier groupe pour la phase lutéale précoce, soit dans le second groupe pour la phase lutéale moyenne.

Deux semaines avant la séance de test, les participantes se sont familiarisées à réaliser une CIMV. Au cours des 48 heures précédant chaque test, les APS induisant une fatigue musculaire ont été bannies. Avant toute prise de mesure, les participantes ont effectué un échauffement de 5 minutes sur un vélo ergomètre. Ensuite, elles ont réalisé des contractions à 25, 50, 75 et 100 % de l'effort maximal perçu. Pour les tests, elles ont effectué 3 contractions maximales maintenues de 3 secondes et espacées de 30 secondes de récupération. Les mesures des fléchisseurs et extenseurs du genou ont été prises sur la jambe dominante. Les encouragements verbaux ont été autorisés tout au long de la procédure de tests. Les données obtenues ont été normalisées en fonction de la masse corporelle (Nm/kg).

Cette étude montre que la comparaison entre les deux groupes n'a pas relevé de différence significative.

Fridén et al. (104) et Janse de Jonge et al. (106) ont également analysé la variation de la force des membres inférieurs durant le CM. La première étude a mesuré le couple isocinétique maximal des extenseurs du genou droit à une vitesse de 120°/s dans une amplitude de mouvement de 90° à 10°. Dans une position standardisée, les volontaires ont effectué 5 contractions concentriques et la meilleure a été retenue. Ensuite, pour évaluer l'endurance musculaire, les participantes ont réalisé 50 contractions à vitesse constante. La valeur moyenne des 5 premières contractions a été comparée à celles des 5 dernières, puis exprimée en pourcentage.

Aucune différence entre les valeurs de la force maximale et la fatigabilité n'a été relevée entre les phases folliculaire précoce, ovulatoire et lutéale moyenne.

Janse de Jonge et son équipe (106) se sont concentrés sur la force maximale isométrique du quadriceps ainsi que sur la force et l'endurance isocinétique des muscles fléchisseurs et extenseurs du genou. Ils n'ont trouvé aucun changement entre la phase menstruelle, folliculaire tardive et lutéale moyenne.

Concernant la force maximale isométrique, les auteurs ont décidé d'utiliser des impulsions électriques afin de maximiser l'activation neuronale du quadriceps. En résumé, la valeur de cette force est nommée ratio d'activation centrale (RAC) et obtenue de la sorte : $RAC = CIMV / \text{force totale}$. La force totale représente l'addition de la force volontaire et de la force superposée (impulsions électriques). Lorsque le $RAC = 1$, cela signifie une contraction volontaire maximale. Les sujets ayant un RAC inférieur à 1 ont été exclus. À chaque test, les sujets ont effectué 5 CIMV sur la jambe dominante avec un repos de 2 minutes entre chaque contraction. Le principe de superposition de courant électrique lors de la CIMV a également été utilisé dans l'étude de Elliott et al. (103).

Cependant dans cette étude (106), cette méthode n'a pas été utilisée pour mesurer les forces isocinétiques exercées sur l'articulation du genou pendant les contractions musculaires maximales des fléchisseurs et des extenseurs. Cette fois, les participantes ont réalisé 5 flexions et 5 extensions à une vitesse de 60°/s.

Ce protocole a été répété à une vitesse de 240°/s, avec un intervalle de repos de 2 minutes entre chaque série de 5 contractions.

Le dernier test isocinétique a consisté en un test de fatigue volontaire afin d'évaluer l'endurance musculaire. Ce test impliquait 60 flexions et extensions du genou à une vitesse de 240°/s.

Table 2.

Études interventionnelles ne montrant pas d'influence du CM sur les adaptations après un entraînement de musculation

Études	Participants	Détermination CM Phases CM comparées	Types d'adaptation Types de contraction Groupes musculaires	Résultats
Reis et al. (1995) (71)	n = 7 ± 24 ans Étudiantes éducation physique	Échantillon sanguin Échantillon urinaire TCB Folliculaire Lutéale	Hypertrophie Isométrique Fléchisseurs genou	Pas de différence significative
Sakamaki-Sunaga et al. (2016) (111)	n = 14 ± 21 ans Modérément actives	TCB Folliculaire Lutéale	Force max. Hypertrophie Dynamique Isométrique Fléchisseurs coude	Pas de différence significative

Les deux études interventionnelles présentées dans la table 2 ne montrent pas de différence significative. La conclusion de celles-ci rejoint celle des études répertoriées dans la table 1.

Reis et son équipe (71) ont été les premiers à investiguer la planification d'entraînement de musculation en fonction des fluctuations hormonales pendant le CM. Pour ce faire, ils ont comparé les résultats sur l'hypertrophie et la force maximale isométrique de deux protocoles de fréquence différente de renforcement musculaire. La partie concernant la force maximale isométrique sera décrite à la page reliée à la table 4. L'étude a été réalisée chez 7 sujets sportives durant deux CM. Pour le premier CM, une jambe a été assignée au premier protocole de fréquence tandis que l'autre jambe a été assignée au deuxième protocole. Le premier jour des règles du second CM, les protocoles ont été inversés. Cela permet d'éviter le biais de latéralité. Le changement a été effectué au premier jour des règles du second CM.

Le premier protocole a été nommé « RT » pour « regular training » et consiste en une séance d'entraînement tous les 3 jours durant tout le CM.

Le deuxième protocole intitulé « MCTT » pour « menstrual cycle triggered training » se composait d'un entraînement tous les deux jours durant la phase folliculaire et un entraînement par semaine durant la phase lutéale. Au total, 9 séances d'entraînement ont été réalisées pour chaque protocole. Une séance se

composait de 3 séries de 12 répétitions maximum (arrêt à l'épuisement), réalisées sur une machine isocinétique, à la plus haute intensité possible.

Bien que la durée moyenne des phases folliculaire et lutéale n'étaient pas exactement de 14 jours (folliculaire $14,4 \pm 1,8$ et lutéale $13,1 \pm 2,1$) les auteurs ont néanmoins adopté le principe selon lequel un CM dure 28 jours (14 jours par phase). La tomographie a été utilisée pour mesurer la CSA et un protocole standardisé a été appliqué. La CSA a été mesurée à trois moments du CM : au début de la période d'entraînement (donc du CM), après un CM d'entraînement et après le second CM. Par l'effet de l'entraînement, la CSA a augmenté au cours des 8 semaines d'entraînement mais aucune différence significative n'a été relevée entre les 2 protocoles de périodisation.

Sakamaki-Sunaga et son équipe (111) ont recruté 14 femmes n'ayant pas pratiqué d'entraînement de musculation depuis au moins 1 an. Un suivi de la TCB a été mis en place 1 mois avant l'étude et jusqu'à la fin de celle-ci afin de déterminer la phase folliculaire et la phase lutéale. Elles ont suivi un programme de renforcement musculaire pour les fléchisseurs du coude pendant 12 semaines, ce qui correspond à 3 CM consécutifs. Le programme comprend 3 séries de 8 à 15 répétitions à réaliser jusqu'à l'échec avec 2 minutes entre chaque série.

Concrètement, chaque bras a été assigné de manière aléatoire à être principalement entraîné soit pendant la phase folliculaire soit pendant la phase lutéale. Le nombre d'entraînements par semaine variait en fonction de la phase du CM. Par exemple, si le bras gauche est associé à la phase folliculaire, au cours des 2 semaines qui composent cette phase, le sujet a entraîné ce bras à raison de 3 fois par semaine et seulement d'une fois par semaine le bras opposé. Durant les deux semaines qui suivent, le bras gauche a été entraîné une seule fois par semaine tandis que le bras droit associé à la phase lutéale a été entraîné 3 fois par semaine.

La première moitié de la figure 6 illustre cette explication. Les auteurs ont mesuré le 1RM, la CIMV et la CSA au début de l'étude, ainsi qu'à la 4^{ème}, 8^{ème}, 12^{ème} semaine. À l'exception de la CSA qui n'a pas été mesurée lors de la 4^{ème} semaine. Ceci est représenté par les triangles de la figure 6.

Le 1RM a été déterminé suivant un protocole spécifique comprenant un échauffement à charge modérée suivi d'une augmentation de la charge jusqu'à 80 % du 1RM prédit. À chaque fois que le sujet réussissait à soulever la charge dans

toute l'amplitude du mouvement, celle-ci était augmentée de 5 %. En moyenne 5 essais ont été effectués pour atteindre le 1RM. La charge d'entraînement des sujets pour le protocole de renforcement a également été calculée sur base du 1RM défini. La CIMV a été mesurée coude fléchi à 90° après un échauffement avec des contractions sous-maximales. Le meilleur des 2 essais octroyés a été retenu. La CSA moyenne a été évaluée par imagerie de résonance magnétique (IRM) pour les muscles brachial et biceps brachial.

Cette étude a conclu qu'il n'existe aucune différence entre les changements induits par le protocole de renforcement basé sur la phase folliculaire et celui basé sur la phase lutéale. Une augmentation significative de la CSA et de la force musculaire a été répertoriée pour les deux protocoles au cours des 12 semaines d'entraînements.

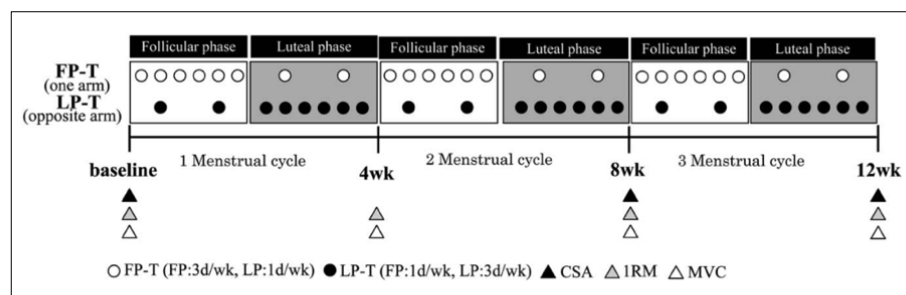


Fig. 6. Programme expérimental. CSA ; CIMV = MVC ; FP = phase folliculaire ; FP-T = entraînement durant la phase folliculaire ; LP = phase lutéale ; LP-T : entraînement durant la phase lutéale. (Sakamaki-Sunaga et al., 2016)

Table 3.

Études descriptives montrant une influence du CM sur les variations de la force et de l'endurance musculaire au cours du CM

Études	Participants	Détermination CM Phases CM comparées	Types d'adaptation Types de contraction Groupes musculaires	Résultats
Ashraf et al. (2023) (112)	n = 120 18 à 25 ans Bonne santé	Clue period tracking Folliculaire précoce Folliculaire tardive Lutéale moyenne	Force max. Endurance muscul. Isométrique Muscles avant-bras	Force maximale significativement plus élevée dans la phase folliculaire tardive.
Bambaeichi et al. (2004) (113)	n = 8 ± 30 ans Sédentaires	Échantillon urinaire et TCB Folliculaire précoce Folliculaire moyenne Ovulation Lutéale moyenne Lutéale tardive	Force max. Isocinétique Isométrique Fléchisseurs et extenseurs genou	L'ovulation est la période la plus propice à une performance de force.
Das (2023) (114)	n = 44 18 à 24 ans Bonne santé	Rapporté par les participantes Menstruelle Folliculaire Lutéale	Force max. Endurance muscul. Isométrique Muscles avant-bras	La force musculaire maximale est plus élevée dans la phase folliculaire et lutéale par rapport aux menstruations. L'endurance musculaire est plus élevée dans la phase folliculaire par rapport aux menstruations.
Forouzandeh Shahraki et al. (2020) (115)	n = 15 ± 23 ans Athlètes universitaires	Échantillon urinaire Folliculaire précoce Folliculaire tardive Lutéale moyenne	Force max. Isométrique Abducteurs, rotateurs internes et rotateurs externes épaule	La force est significativement plus élevée dans la phase d'ovulation.
Pallavi et al. (2017) (116)	n = 100 ± 18 ans 1 à 2 h APS/sem	Rapporté par les participantes Menstruelle Folliculaire Lutéale	Force max. Isométrique Muscles avant-bras	La force est significativement plus élevée dans la phase folliculaire tardive. La force est significativement plus faible dans la phase lutéale.
Pournasiri et al. (2023) (117)	n = 37 ± 21 ans Athlètes	Rapporté par les participantes Folliculaire précoce Ovulatoire Lutéale	Force max. Isocinétique Isométrique Fléchisseurs et extenseurs genou	Les forces sont significativement plus élevées dans la phase ovulatoire par rapport aux deux autres phases.

Rodrigues et al. (2019) (118)	n = 12 ± 27 ans Pratique de la musculature depuis au moins 3 ans	Calendrier menstruel Folliculaire précoce Folliculaire moyenne Lutéale tardive	Force max. Dynamique (concentrique) Extenseurs genou	La force dans la phase folliculaire moyenne est significativement meilleure. La force dans la phase lutéale tardive est significativement moins bonne.
Tenan et al. (2016) (119)	n = 9 ± 24 ans Modérément actives	TCB Folliculaire précoce Folliculaire tardive Ovulation Lutéale moyenne Lutéale tardive	Force max. Endurance muscul. Isométrique Extenseurs genou	La force maximale et l'endurance musculaire sont significativement plus basses dans la phase lutéale moyenne. Une plus grande fatigabilité peut également être observée dans la phase folliculaire précoce lorsque la tâche est supérieure à 150 secondes.

Les huit études citées dans la table 3 ont étudié les variations de la force et de l'endurance musculaire au cours du CM.

Trois d'entre elles (112, 114, 116) ont analysé les variations de la force musculaire durant le CM par le biais de la force de préhension.

Dans l'étude d'Ashraf et al. (112), 120 femmes entre 18 et 25 ans et en bonne santé ont été suivies durant les 3 phases du CM : folliculaire précoce, folliculaire tardive et lutéale moyenne. Les volontaires ont utilisé l'application clue period tracking pour déterminer la durée du CM et le début de chaque phase.

La force musculaire de chaque participante a été mesurée dans chacune des phases d'un seul CM. Le pourcentage de jeunes femmes ayant un indice de masse corporelle (IMC) normal est de 71,7 %, 14,16 % sont en sous-poids et 12,5 % sont en surpoids dont 1,7 % sont obèses. La force musculaire a été évaluée en mesurant la force maximale de préhension à l'aide d'un dynamomètre. Le choix du dynamomètre se justifie par le fait que la force de préhension n'est que très légèrement influencée par les compétences et la motivation du sujet. Une moyenne des données de toutes les participantes a été réalisée au sein de la même phase du CM. La valeur de la force de préhension se situe à 25.69 ± 4.54 kg pour la phase folliculaire tardive, pour la phase folliculaire précoce elle avoisine 24.36 ± 4.58 kg et 23.85 ± 4.45 kg pour la phase lutéale moyenne.

Cette étude a conclu que la force maximale de préhension est plus importante en phase folliculaire tardive qu'en phase folliculaire précoce ou lutéale moyenne.

L'étude conduite par Das (114) a inclus 44 participantes dont l'âge et les caractéristiques du CM sont semblables aux sujets de l'étude d'Ashraf et al. (112). Les données ont également été récoltées au cours de 3 phases : menstruelle, folliculaire et lutéale mais cette fois durant deux CM. Les participantes ont toutes un IMC normal moyen de 22,6 kg/m². Les informations concernant la durée et la régularité du CM ont été rapportées par les sujets.

En plus de mesurer la force musculaire maximale de préhension (en kg) comme l'ont fait Ashraf et al. (112) et Pallavi et al. (116), cette étude a également évalué l'endurance musculaire (en secondes). Les résultats ont mis en évidence que la force musculaire est beaucoup plus élevée durant la phase folliculaire par rapport aux menstruations et légèrement supérieure par rapport à la phase lutéale. La valeur moyenne la plus basse se situe donc durant les menstruations avec un écart rapporté de ± 6 kg par rapport aux deux autres phases. L'endurance musculaire est également plus élevée pendant la phase folliculaire et plus faible durant les menstruations. Cette fois encore, la valeur moyenne la plus basse se retrouve durant les menstruations et puis durant la phase lutéale. À partir de ces données, les auteurs ont conclu que la force et l'endurance musculaire augmentent pendant la phase folliculaire.

L'étude réalisée par Pallavi et al. (116) a regroupé 100 étudiantes dont l'âge moyen est 18 ans. Les volontaires sont en bonne santé et pratiquent 1 à 2 heures d'APS par semaine. L'IMC moyen est de 21 kg/m².

Comme dans l'étude de Das (114), la collecte des données s'est déroulée au cours de 2 CM consécutifs et durant 3 phases : menstruelle, folliculaire et lutéale. De la même manière que dans les deux études précédemment citées (112, 114), la force a été mesurée avec un dynamomètre manuel. Les étudiantes n'ont pas suivi de phase de familiarisation. Chaque jour de tests, elles ont effectué 3 essais et la meilleure valeur a été retenue. Elles ont bénéficié également d'encouragements verbaux afin de maintenir leur motivation. Il a été explicitement demandé aux participantes de ne pas consommer de boissons énergisantes, ni d'alcool ou encore de caféine et de ne pas pratiquer d'APS la veille et le jour du test.

Les résultats de cette étude suggèrent que la force est plus élevée durant la phase folliculaire par rapport aux phases lutéale et menstruelle. La phase menstruelle montre des valeurs plus faibles par rapport aux deux autres phases.

Forouzandeh Shahraki et al. (115) ont également traité de la force musculaire des membres supérieurs et plus précisément des muscles de l'épaule. De plus, les auteurs ont cherché à mettre en évidence les facteurs de risques intrinsèques de blessures à l'épaule au cours du CM chez des athlètes universitaires. Cette étude a récolté des données concernant la laxité, la proprioception et la force musculaire. Les 15 participantes, entre 20 et 25 ans, pratiquent un sport de lancer depuis au moins 3 ans à raison de 3 séances par semaine. Les sujets ne présentent aucune blessure aux membres supérieurs depuis au moins 3 mois. Les tests se sont déroulés durant une seule saison et toujours à un moment identique de la journée. Les athlètes ont été testées sur leur bras dominant, ce critère a été explicitement mentionné. Contrairement aux études d'Ashraf et al. (112), de Das (114) et de Pallavi et al. (116), les phases du CM ont cette fois été confirmées par la mesure du pic de LH. Les tests se sont déroulés à trois moments du CM : 3 jours après le début des menstruations, durant la phase folliculaire tardive (correspondant ici à l'ovulation car 24 à 48 heures après un test d'ovulation positif) et 7 jours après un test d'ovulation positif ce qui correspond à la phase lutéale moyenne.

Un dynamomètre Lafayette a été utilisé pour mesurer la force des abducteurs, rotateurs internes et rotateurs externes de l'épaule.

Ces différentes forces sont significativement supérieures durant l'ovulation par rapport aux menstruations et à la phase lutéale moyenne. Les auteurs n'ont pas rapporté de différence significative entre les menstruations et la phase lutéale moyenne malgré une variation dans les résultats rapportés.

Les cinq études (113, 117-120) suivantes ont examiné la force des membres inférieurs. Bambaiechi et al. (113) et Pournasiri et al. (117) ont étudié les variations de la force maximale isométrique et isocinétique des fléchisseurs (ischios-jambiers) et extenseurs du genou (quadriceps), respectivement chez 8 femmes sédentaires et chez 37 athlètes.

L'objectif de l'étude de Bambaiechi et al. (113) est d'examiner de manière isolée et combinée les effets du CM et du moment de la journée (rythme circadien) sur la

force musculaire de femmes euménorrhéiques. Seuls les effets du CM sur la force sont décrits par la suite.

Pournasiri et al. (117) ont analysé l'impact des variations de la force musculaire des membres inférieurs au cours du CM lors de la survenue de lésion du ligament croisé antérieur (LCA). Les athlètes sélectionnées pratiquent un sport à haut risque de lésion LCA, s'entraînent au moins 3 fois par semaine. L'IMC moyen est de $\pm 23,5 \text{ kg/m}^2$ est considéré comme normal. Durant un mois, les données ont été recueillies au cours de trois phases du CM à savoir la phase folliculaire, ovulatoire et lutéale. Le moment exact du cycle a été rapporté en interrogeant les participantes.

À contrario, Bambaichi et al. (113) ont utilisé la TCB pour prédire les phases folliculaire précoce et moyenne, ovulatoire et lutéale moyenne et tardive. Durant un mois avant le début des tests, les sujets ont pris leur température sublinguale. De plus le pic ovulatoire a été confirmé par un test d'ovulation dans les urines.

Pournasiri et al. (117) ont récolté les données de force des muscles fléchisseurs et extenseurs du genou ainsi que le rapport des deux forces sur la jambe dominante via un dynamomètre isocinétique. Avant la prise de mesures, les volontaires se sont échauffées 15 minutes sur un vélo ergomètre à une puissance de 75 watts (W) et ont réalisé 3 contractions sous-maximales suivies de 3 contractions concentriques maximales involontaires. La force isocinétique a été mesurée à une vitesse de 60° par seconde ($60^\circ/\text{s}$) par une contraction concentrique pour les fléchisseurs et par une contraction excentrique pour les extenseurs. Le sujet a exécuté 5 contractions dans une amplitude de 0° à 90° . Les auteurs ont normalisé la moyenne des 5 essais en fonction de la masse corporelle c'est-à-dire en Nm/kg. Lorsque la valeur d'un essai est supérieure de 15 % aux autres essais, l'ensemble des 5 contractions est recommencé après 5 minutes de pause. Les valeurs retenues durant les 3 phases de test sont celles du couple de force maximale des extenseurs du genou et du couple de force maximale des fléchisseurs du genou. Le rapport fonctionnel a été calculé en divisant respectivement les deux forces précédemment mentionnées.

Pour mesurer la force isométrique des ischio-jambiers et du quadriceps, les participantes ont réalisé 3 contractions maintenues de 5 secondes avec un intervalle de repos de 20 secondes entre chaque contraction. La valeur maximale retenue est exprimée en Nm. Cette étude (117) souligne que les valeurs obtenues pour les forces isocinétique et isométrique sont significativement supérieures au cours de la

phase ovulatoire et significativement plus basses durant les phases folliculaire et lutéale.

Aucune différence significative n'a été relevée entre ces deux dernières phases. Les auteurs ont conclu que la diminution de la force musculaire durant ces deux phases expose les athlètes féminines à un plus grand risque de lésion du LCA.

Bambaeichi et al. (113) ont étudié la force isocinétique à deux vitesses différentes : $1,05 \text{ rad.s}^{-1}$ qui correspond $\approx 60^\circ/\text{s}$ et $3,14 \text{ rad.s}^{-1}$ qui correspond à $\approx 180^\circ/\text{s}$. Les valeurs de contraction isométrique maximale ont été mesurées les genoux fléchis à 60° . Les données retenues sont celles de la jambe dominante à 5 moments différents du CM : au cours de la phase menstruelle, folliculaire moyenne, ovulatoire, lutéale moyenne et lutéale tardive. Afin de minimiser les effets d'apprentissage, les sujets ont participé à deux séances d'entraînement pour se familiariser avec la procédure de tests. Elles ont pratiqué un échauffement standardisé de 5 minutes sur un vélo ergomètre entre 80 W et 120 W selon leur masse corporelle. À noter que la durée de l'échauffement est plus courte que dans l'étude de Pournasiri et al. (117).

Pour chaque mode de contraction, les sujets ont réalisé 3 efforts sous-maximaux avec une récupération passive de 3 minutes, suivis de 3 contractions maximales avec 3 minutes de récupération entre chacune d'elle.

Aucune différence significative n'a été observée entre les différentes phases du CM pour la force isométrique et la force isocinétique à $1,05 \text{ rad.s}^{-1}$ des extenseurs du genou ni pour la force isocinétique à $3,14 \text{ rad.s}^{-1}$ des fléchisseurs du genou. En revanche, une différence significative a été constatée pour la force isométrique et isocinétique à $1,05 \text{ rad.s}^{-1}$ des fléchisseurs du genou ainsi que pour la force isocinétique à $3,14 \text{ rad.s}^{-1}$ des extenseurs du genou.

Pour ces trois types de contractions, la conclusion de cette étude rejoint celle de Pournasiri et al. (117) mettant en évidence une maximisation de la force durant la phase ovulatoire et une diminution des valeurs durant la phase mi-folliculaire et mi-lutéale.

À noter également que dans ces deux études (113, 117), les données ont été relevées à heures fixes afin de minimiser les effets des activités quotidiennes.

Dans l'étude de Pournasiri et al. (117) une seule mesure a été effectuée par jour, pour deux mesures dans celle de Bambaeichi et al. (113) (qui pour rappel, examine également l'effet du rythme circadien sur la force musculaire).

Rodrigues et al. (118) et Tenan et al. (119) ont ciblé les extenseurs du genou afin d'étudier l'influence du CM sur les variations de la force.

L'équipe de Rodrigues et al. (118) a recruté 12 participantes âgées de ± 27 ans qui pratiquent la musculation à raison de 5 à 6 fois par semaine depuis au moins 3 ans. Comme dans l'étude de Pallavi et al. (116), il a été demandé aux sujets de ne pas pratiquer d'APS, de ne pas consommer d'alcool ni de caféine 48 heures avant les tests.

L'objectif de cette étude est d'observer comment varie le 1RM au cours du CM. Le 1RM est dit « estimé » c'est-à-dire qu'il suit un protocole de prédiction. La collecte des données a été effectuée sur une « Leg Press 45° », une machine de musculation qui cible principalement le quadriceps donc les extenseurs du genou. Les mesures ont été récoltées durant la phase folliculaire précoce (menstruations), durant la phase folliculaire moyenne et durant la phase lutéale tardive.

Cette étude ne stipule pas de manière explicite comment les phases ont été déterminées, il est possible de supposer que les informations nécessaires ont été rapportées par les sujets. Au total, il y a eu 4 sessions : 1 session dite de « familiarisation » et 3 sessions « tests / expérimentales » durant les 3 phases du CM. La première session a servi de familiarisation à la réalisation du test de prédiction du 1RM. Les participantes ont réalisé 2 à 10 répétitions avec une charge fixe qui dans un premier temps a été estimée par celles-ci. Les répétitions ont été effectuées jusqu'à l'échec de contraction concentrique. Après cela, les chercheurs ont utilisé l'équation de O'Connor, Simmons et O'Shea pour estimer le 1RM :

$$1RM = \text{poids} \times [1 + 0,025 \times \text{nombre de répétitions}]$$

Lors des 3 sessions expérimentales, le 1RM a été estimé selon le même protocole que lors de la session de familiarisation. Cette fois, les sujets se sont échauffés pendant 5 répétitions à 50 % de leur 1RM estimé, suivi d'une pause de 2 minutes et ensuite 5 répétitions à 70 %. Lors des 3 sessions de test, les données ont été récoltées de la sorte : les participantes ont effectué 3 tentatives comprenant au moins 2 et maximum 10 répétitions. Il n'est pas précisé si la première tentative a été réalisée sur base du 1RM estimé lors de la session de familiarisation ou si les participantes ont choisi librement leur charge initiale. Entre chaque tentative, un repos de 3 minutes a été octroyé. Seule la meilleure valeur des trois tentatives a été retenue. Si lors d'une tentative, le nombre de répétitions était supérieur à 10, les charges ont été augmentées de 2, 3 ou 4 %.

Cette étude (118) a conclu que la force dans la phase folliculaire moyenne est significativement meilleure. À contrario, la force dans la phase lutéale est significativement moins bonne. Les valeurs de la phase folliculaire précoce se situent entre les deux phases précédemment citées.

L'étude de Tenan et al. (119) a examiné l'effet du CM sur la force isométrique maximale. Sur base de la TCB, les données ont été collectées durant 5 phases distinctes du CM : folliculaire précoce, folliculaire tardive, ovulatoire, lutéale moyenne et lutéale tardive. Comme dans l'étude de Pallavi et al. (116) et Rodrigues et al. (118), les participantes ont reçu l'instruction de ne pas pratiquer d'APS, de ne pas consommer d'alcool ni de caféine 48 heures avant les tests.

La première étape du test a consisté en un échauffement de 12 extensions dynamiques du genou. Par la suite, le sujet a été installé sur une chaise avec les hanches et les chevilles à 90°. La cheville dominante attachée à un dispositif a permis de mesurer la CIMV du quadriceps. Les sujets ont eu droit à 3 essais espacés de 60 secondes de récupération. La moyenne de ces 3 essais a été enregistrée. Les encouragements sont autorisés mais aucun feedback n'a été donné durant la performance.

L'endurance musculaire a également été évaluée en demandant aux sujets de maintenir une contraction à 25 % de la CIMV. Cette fois, un feedback visuel affichant la force générée a été donné aux participantes. Le test s'arrête lorsque la force varie de $\pm 5\%$ par rapport aux 25 % établis ou lorsque la contraction n'est plus maintenue durant 3 secondes, mettant en avant la fatigabilité musculaire.

Les résultats ont permis de mettre en évidence une diminution significative de la force de contraction maximale durant la phase lutéale moyenne. Une diminution de 23 % a été rapportée par rapport à la phase ovulatoire.

À l'exception de cette phase, la performance musculaire isométrique maximale des muscles extenseurs s'avère être relativement stable.

Concernant l'endurance musculaire, une plus grande fatigabilité peut être observée dans la phase lutéale moyenne ainsi que dans la phase folliculaire précoce lorsque la tâche dépasse 150 secondes.

Table 4.

*Études **interventionnelles** montrant une influence du CM sur les **adaptations** après un entraînement de musculation*

Étude	Participants	Détermination CM Phases CM comparées	Types d'adaptation Types de contraction Groupes musculaires	Résultats
Reis et al. (1995) (71)	n = 7 ± 24 ans Étudiantes éducation physique	Échantillon sanguin Échantillon urinaire TCB Folliculaire Lutéale	Force max. Isométrique Fléchisseurs genou	La force maximale isométrique a augmenté de manière significative après une périodisation basée sur la phase folliculaire
Sung et al. (2014) (120)	n = 20 ± 26 ans Modérément entraînées	Calendrier menstruel Échantillon sanguin TCB Folliculaire Lutéale	Hypertrophie Force maxi. Isométrique Extenseurs genou	Le diamètre du muscle et des fibres de type II ainsi que la force isométrique maximale ont augmenté de manière significative après un protocole d'entraînement basé sur la phase folliculaire par rapport à la phase lutéale.

Les deux études interventionnelles présentées dans la table 4 montrent une différence significative sur l'influence du CM sur les adaptations après un entraînement de musculation.

L'étude de Reis et son équipe (71) a préalablement été citée dans la table 2 et le protocole expérimental a déjà été décrit. Pour rappel, ceux-ci ont évalué les effets de deux types d'adaptations aux entraînements de musculation : l'hypertrophie (dont aucune différence significative n'a été relevée) et la force maximale isométrique.

Les auteurs ont mesuré la force maximale isométrique des quadriceps au même moment que la CSA, c'est-à-dire au début de la période d'entraînement (donc du CM), après un CM d'entraînement et après le second CM.

Les sujets ont d'abord réalisé un échauffement individuel standardisé de 15 minutes, ensuite la force maximale isométrique de chaque quadriceps a été mesurée sur une machine Leg Press, genoux fléchis à 120°.

À contrario de la CSA, une différence significative a cette fois été relevée entre le type de périodisation nommé MCTT (basé sur la phase folliculaire) et celui nommé RT (entraînement tous les 3 jours durant tout le CM).

La force maximale isométrique a augmenté pour les deux types de périodisation mais il a été souligné une différence significative pour le programme MCTT (32,6 %) par rapport au RT (13,1 %).

Les auteurs ont donc conclu que la périodisation basée sur la phase folliculaire semblerait plus efficace pour augmenter la force maximale.

Durant cette étude, un suivi des taux hormonaux sériques a également été effectué durant un CM avant le début de l'entraînement et après la période d'entraînement ; au milieu de la phase folliculaire et au milieu de la phase lutéale. Néanmoins au vu du faible échantillon (7 sujets), les auteurs n'ont pas tiré de conclusions entre de potentielles relations de cause à effet entre les variations des taux d'E2, de testostérone, de SHBG, de progestérone et de cortisol.

La mesure du pic ovulatoire a été effectuée grâce à la LH urinaire.

L'étude réalisée par Sung et ses collègues (120) propose une approche expérimentale rejoignant celle de Sakamaki-Sunaga et al. (111) ainsi que celle de Reis et al. (71).

L'ensemble de l'étude s'est échelonnée sur 5 CM, 2 CM dits de « contrôle » et 3 CM d'entraînement. L'objectif a été de comparer les effets de deux programmes d'entraînement distincts à savoir, un programme réalisé durant la phase folliculaire et l'autre durant la phase lutéale.

Chaque participante a suivi simultanément les deux programmes, chacun affecté à une jambe différente. Pour éviter les biais liés à une préférence pour un côté du corps, les programmes d'entraînement ont été attribués de manière aléatoire aux côtés du corps. Les 20 étudiantes sélectionnées pratiquent moins de 2 heures d'APS par semaine et n'ont jamais effectué d'entraînement de musculation.

Le suivi individuel du CM a été réalisé par les participantes tout au long de l'étude, d'une part, par la prise de la TCB et d'autre part, suivant un calendrier menstruel. Pour chaque sujet, il a été relevé que la TCB augmente durant la phase lutéale.

Au cours du 2^{ème} CM de contrôle, des échantillons sanguins ont été prélevés dans des conditions standardisées. Les jours des prélèvements ont été adaptés selon la durée du CM. Pour les CM de 27 à 29 jours, le sang veineux a été prélevé au 11^{ème} jour (phase folliculaire tardive) et au 25^{ème} jour (phase lutéale tardive). Pour les CM de 30 à 31 jours, les prélèvements ont été réalisés au 13^{ème} et au 27^{ème} jour.

Pour les cycles de 25 à 26 jours, les prélèvements ont été effectués au 9^{ème} et au 23^{ème} jour. L'E2, la progestérone, la testostérone (totale et libre) et la DHEA ont été dosés pour chaque échantillon.

Durant les 3 CM d'entraînements, 3 entraînements par semaine ont été réalisés sur le Leg Press (entraînement à 80 % du 1RM). À cela s'ajoute un travail ciblé sur des squats unipodaux réalisés une fois par semaine. La force maximale isométrique a été mesurée au jour 11 (phase folliculaire) et au jour 25 (phase lutéale) à partir du 2^{ème} cycle de contrôle et pour chaque CM d'entraînement. Des biopsies musculaires ont été prélevées sur le muscle vaste latéral le 27^{ème} jour du CM chez 9 participantes. Avant chaque test de force maximale isométrique, mesurée séparément sur chaque jambe, les sujets se sont échauffés 10 minutes sur un vélo ergomètre. La position sur la machine « Leg Press » était la suivante : genou et cheville à 90°. Chaque mesure a été répétée 3 fois avec 30 secondes de repos entre les tests, la meilleure valeur a été retenue.

Le diamètre des muscles a été mesuré par imagerie pour le droit fémoral, le vaste intermédiaire et le vaste latéral. La somme des diamètres des trois muscles a été utilisée pour l'analyse des données. Les biopsies musculaires de ces trois muscles ont été réalisées pour analyser la répartition entre les types de fibres.

Les résultats de cette étude montrent que la force maximale des extenseurs du genou a significativement augmenté pour les deux jambes. Néanmoins, la force maximale de la jambe ayant suivi le protocole durant la phase lutéale montre une augmentation significativement plus faible que pour le programme d'entraînement basé sur la phase folliculaire.

Cela suggère que les deux méthodes de planification d'entraînement ont été efficaces pour améliorer la force des muscles extenseurs du genou, mais que la périodisation des entraînements durant la phase folliculaire montre un effet supérieur.

Cette conclusion s'applique également pour le diamètre musculaire. Celui-ci a augmenté de manière significative entre les périodes pré et post-entraînement, mais d'autant plus pour les muscles entraînés durant la phase folliculaire.

En résumé, cette étude met en avant qu'un protocole d'entraînement basé sur la phase folliculaire est plus efficace pour améliorer la force isométrique maximale et augmenter le diamètre des muscles et celui des fibres musculaires de type II.

V. Discussion

L'objectif de cette revue narrative était de faire le point sur les connaissances actuelles concernant l'intérêt ou non de tenir compte du CM pour périodiser les entraînements de musculation.

À l'heure actuelle, la littérature soutient l'hypothèse que les œstrogènes et la testostérone ont des effets plus anabolisants que la progestérone qui a des effets plutôt catabolisants sur le muscle squelettique. De ce fait, il peut être supposé que le timing des entraînements de musculation en fonction des concentrations hormonales pourrait influencer les performances liées à la force musculaire.

Cela suggérerait que les athlètes euménorrhéiques pourraient optimiser les adaptations après un entraînement de musculation en ajustant leurs stratégies d'entraînement en fonction de la phase du CM.

A. *Discussion des principaux résultats et des variables des études*

Les 17 études descriptives permettent d'avoir une vue d'ensemble sur la notion de la « variation » de la force. Neuf études (102-110) penchent en défaveur d'une influence du CM sur les variations de la force maximale et / ou de l'endurance musculaire tandis que 8 études (112-119) soulignent une variation selon les phases du CM.

Pour la majorité des études, le nombre de participantes est compris entre 7 et 20. D'un point de vue statistique, cela représente un échantillon relativement restreint. Seules les études de Montgomery et al. (109), Ashraf et al. (112) et Pallavi et al. (116) pourraient refléter une plus grande population compte tenu de la taille de leurs échantillons respectifs soit 61, 120 et 100 sujets.

Un point commun à toutes ces études est l'âge des participantes qui se situe entre 18 et 29 ans et cible donc une population jeune.

D'une part, cela s'avère intéressant pour comparer les données entre les études, étant donné que l'âge de la population ciblée est semblable.

D'autre part, cela met en avant que les femmes âgées de 30 ans jusqu'au début de la ménopause constituent une population systématiquement exclue.

Selon les études, le niveau de condition physique des participantes était qualifié de « sédentaire / modérément actif » jusqu'à des sujets dits « athlètes ». Ce point est critique car les résultats des tests de force peuvent être influencés par l'expérience des sujets à faire face à une situation de tests. Par exemple, Rodrigues et al. (118) ont uniquement inclus 12 sujets qui pratiquent la musculation depuis 3 ans.

De cette sorte, la composante d'adaptation neuromusculaire qui est un facteur important lorsque la totalité de la réalisation d'un mouvement de musculation est prise en compte, sera moindre par rapport à un groupe sédentaire. Notons également que sans informations complémentaires de la part des auteurs, il est compliqué de percevoir la nuance entre les termes sédentaire / modérément actif / en bonne santé.

Le déroulement des protocoles de tests n'est pas toujours explicite. Certaines études ont mis en place des séances de familiarisation au mouvement testé comme ce fut le cas pour Hoeger et al. (105), Romero-Moraleda et al. (110), Montgomery et al. (109), Rodrigues et al. (118) et Bambaiechi et al. (113). Il serait donc plausible d'anticiper que pour des sujets non habitués à la musculation et sans session de familiarisation, une variation (dans ce cas-ci, une augmentation) à la deuxième session de test donc dans une phase différente du CM, pourrait être en partie attribuable à une adaptation neuromusculaire au mouvement et par conséquent à une meilleure réalisation de celui-ci. Lorsque les sujets réalisent plusieurs tentatives durant une phase de test, une grande variabilité est observée entre les temps de récupération octroyés. Il en est de même pour les feedbacks durant le test, seuls Tenan et son équipe (119) ont octroyé un feedback visuel sur la force produite et Hoeger et al. (105) un feedback oral. Trois études ont encouragé les sujets ; il s'agit de Hoeger et al. (105), Montgomery et al. (109), Pallavi et al. (116) et Tenan et son équipe (119). Or, les encouragements pourraient influencer la motivation qui est également un facteur psychologique influencé par le CM.

Notons que les études d'Ashraf et al. (112), Das (114) et Forouzandeh Shahraki et al. (115) sont pauvres d'un point de vue méthodologie ; peu de détails sont explicités par les auteurs.

Il est également important d'identifier certains facteurs externes liés au mode de vie des participantes tels que l'alcool, la caféine et la fatigue qui pourraient influencer les résultats des tests. Dans les études de Pallavi et al. (116), Rodrigues et al. (118),

et Tenan et al. (119), il a été explicitement demandé aux sujets de ne pas consommer d'alcool ni de caféine durant les 48 heures précédant la réalisation du test. Romero-Moraleda et al. (110) stipulent que les 13 triathlètes n'ont rien modifié à leur routine d'entraînement. À contrario une étude (109) a mentionné que les APS ont été interdites 48 heures précédant chaque test. Elliott et son équipe (103) ont également précisé que les volontaires n'ont pas consommé d'alcool, ni de caféine et n'ont pas pratiqué d'APS intense 24 heures avant les tests.

Trois études ont proposé un protocole interventionnel : Reis et al. (71), Sung et al. (120) et Sakamaki-Sunaga et al. (111). Le choix d'inclure l'étude de Reis et al. (71) (publiée en 1994) est justifié par le fait que ce sont les premiers et les seuls jusqu'en 2014 à avoir proposé une étude interventionnelle sur les entraînements de musculation tenant compte des différentes phases du CM et leurs milieux hormonaux spécifiques. Cette fois, les mêmes sujets ont suivi un protocole basé sur une augmentation de la fréquence soit durant la phase folliculaire soit durant la phase lutéale. Reis et al. (71) n'ont pas montré d'influence du CM sur l'hypertrophie, tout comme Sakamaki-Sunaga et al. (111) sur l'hypertrophie et la force maximale. En outre, Reis et al. (71) ont montré une influence du CM sur la force maximale et Sung et al. (120) sur l'hypertrophie et la force maximale.

À nouveau ces études ont été réalisées sur de très petits échantillons : 7, 24 et 14 participantes âgées en moyenne de moins de 25 ans et dites « modérément sportives » ou étudiantes en éducation physique. L'équipe de Sakamaki-Sunaga (111) a précisé que les femmes incluses n'ont pas participé à des entraînements de musculation depuis au moins 1 an. Sung et al. (120) ont recruté des sujets qui n'ont jamais pratiqué d'entraînement de musculation.

Un autre point d'attention est le groupe musculaire choisi. En effet, les gains observés après un entraînement de musculation peuvent varier selon qu'il a été pratiqué sur les membres supérieurs ou inférieurs. Il apparaît que l'impact de l'entraînement basé sur les phases du CM peut dépendre du groupe musculaire et de la masse musculaire. Selon une méta-analyse publiée en 2023 (121), les femmes qui ont une expérience dans la pratique de la musculation et qui s'entraînent avec une charge égale pour le haut et le bas du corps, obtiennent des gains hebdomadaires

en pourcentage plus élevés pour les exercices spécifiques au bas du corps. Les auteurs de cette méta-analyse recommandent de différer la fréquence d'entraînement entre les membres supérieurs et inférieurs afin d'obtenir une augmentation plus significative du 1RM ; une plus grande fréquence pour le haut du corps (3x) par rapport au bas du corps (2x).

Dans l'étude d'Elliott et al. (103), les variations de la force ont été mesurées sur le 1^{er} interosseux dorsal et 4 études (106, 112, 114, 116) ont étudié les variations au niveau de la force de préhension. Il convient également de s'interroger sur la validité de transposer ces résultats sur d'autres groupes musculaires. Cela reflète-t-il vraiment une variation sur l'ensemble du corps ?

Trois études (103, 113, 115) ont clairement indiqué avoir réalisé les tests au même moment de la journée afin de contrôler les possibles variations circadiennes de la force musculaire. Lors des jours de tests, Bambaichi et al. (113) ont réalisé 2 mesures par jour et n'ont pas observé de différence significative de la force entre les différentes heures de la journée.

Enfin, pour toutes les études, il est important de noter que selon la latéralité choisie, les résultats concernant les variations de la force ou les adaptations musculaires peuvent différer. Lors de mouvements unilatéraux, il est possible de supposer que le contrôle moteur sera meilleur du côté dominant, ce qui permettra de développer une plus grande force. À cet égard et pour éviter ce biais lié à la latéralité, Reis et al. (71) ont inversé les protocoles lors du second CM. Sung et al. (120) et Sakamaki-Sunaga et al. (111) ont fait le choix d'assigner le côté du corps de manière aléatoire sans le modifier pendant l'étude.

B. Outils pour déterminer les phases du CM : analyse critique

Les études de cette revue ont utilisé différents outils et/ou techniques pour déterminer les phases du CM.

Sept études (107, 112, 114-118), parmi les 17 études descriptives, se sont basées uniquement sur les informations rapportées par les participantes et/ou l'utilisation de calendriers menstruels. Parmi celles-ci, seule l'étude de Köse (107) n'a pas

montré de différence significative pour la force maximale et l'endurance musculaire.

Quatre études (105, 110, 113, 119) ont uniquement utilisé la mesure de la LH urinaire et/ou la TCB. Parmi celles-ci, deux d'entre-elles ont montré une différence significative et deux n'ont pas relevé de différence.

Six études : Arazi et al. (102), Elliott et al. (103), Fridén et al. (104), Janse de Jonge et al. (106), Kubo et al. (108) et Montgomery et al. (109) ont utilisé des mesures sériques. Toutes les études ont mesuré au moins l'E2 et la progestérone sauf Arazi et al. (102), qui n'ont mesuré que la FSH et la LH sérique. Ces six études sont répertoriées dans la table 1, elles ne montrent donc pas d'influence du CM sur les variations de la force. Cependant, il peut être souligné que parmi toutes les études listées dans la table 3 qui montrent une influence du CM sur les variations de la force, aucune n'a proposé d'analyse sérique.

Concernant les 3 études interventionnelles, 2 ont prélevé des échantillons sanguins (71, 120). Seul Sakamaki-Sunaga et al. (111) ont uniquement utilisé la TCB.

La variabilité intra et inter sujets des phases du CM a notamment été explicitée dans une revue systématique publiée en mars 2023 (10). Pour rappel, l'ovulation, marquée par une augmentation de LH, divise le CM en deux phases : la phase folliculaire (pré-ovulatoire) et la phase lutéale (post-ovulatoire).

En réalité, la durée de ces phases est très variable. La phase folliculaire peut durer de 10 à 22 jours et la phase lutéale de 7 à 17 jours. Les fluctuations hormonales comme représentées sur les figures 1 et 2 sont considérées comme idéalisées et ne reflètent pas le CM de toutes les femmes. Elles supposeraient que toutes les femmes ont un CM répété de 28 jours et dont l'ovulation se déroulerait le 14^{ème} jour.

La durée du CM, la durée de chaque phase et le pic de LH varient fortement d'une femme à l'autre. Les conclusions d'une étude (122) qui a analysé le CM de 130 femmes mentionnent une variabilité de la durée du cycle de plus de 7 jours pour un même sujet.

Dès lors, il est important de disposer d'une méthode précise et fiable pour déterminer les phases du CM, afin d'attribuer de manière rigoureuse les résultats d'une étude au profil hormonal spécifique de chaque phase.

Il est intéressant de porter un regard critique sur les méthodes présentées dans l'introduction et utilisées dans cette revue.

Le calendrier menstruel établit les phases du CM à partir du jour 1 des règles. De ce fait, pour estimer la date de l'ovulation, il faut compter les jours de manière rétrospective. L'utilisation de méthodes de comptage basées sur le calendrier n'est pas recommandée lorsqu'il est nécessaire d'identifier avec précision la phase du CM, car elle ne permet pas de distinguer les cycles ovulatoires des cycles anovulatoires. En effet, la présence de saignements menstruels réguliers ne suffit pas à garantir la présence d'un CM ovulatoire avec ses fluctuations hormonales associées. De plus, comme le mentionne la revue systématique (10), il n'est pas correct de prédire le moment de l'ovulation en se basant uniquement sur la longueur moyenne des cycles, car cette méthode repose sur l'hypothèse erronée d'une corrélation entre la durée du cycle et le moment de l'ovulation.

La validité et la fiabilité de la TCB sont également discutables. Tout comme le calendrier menstruel, cette technique à elle seule ne fournit aucune information concernant les taux hormonaux. Elle ne permet qu'une estimation des phases. Une étude (123) a examiné la TCB chez 98 femmes et a constaté que dans seulement 22 % des CM, une TCB élevée correspondait à un pic de LH. Cette méthode n'est pas recommandée pour déterminer de manière précise le pic ovulatoire. Les relevés de la TCB peuvent également être influencés par des facteurs externes ; dans le cas des études de cette revue, il se pourrait que la situation de stress engendrée par le test participe à l'augmentation de la température.

La mesure de LH urinaire est une méthode non-invasive et précise. La libération de LH qui déclenche l'ovulation, peut se produire sur une période allant d'un jour à environ 2 à 6 jours. Elle permet d'exclure les CM anovulatoires mais ne permet pas d'exclure les CM dont la phase lutéale est déficiente (LPD) car la déficience dans la phase lutéale survient après le pic ovulatoire (124).

Le suivi des taux sériques de progestérone et d'œstrogènes constitue une très bonne méthode pour vérifier la régularité d'un cycle ovulatoire. La littérature actuelle (24) s'accorde à dire qu'un taux de progestérone supérieur à 16 nmol/L dans la phase

lutéale constitue une valeur prudente afin de réduire le risque d'inclure des femmes ayant des CM anovulatoires ou LPD.

Sept études incluses dans cette revue ont mesuré le taux de progestérone durant la phase lutéale. Deux études : Sung et son équipe (120) et Montgomery et al. (109) ont inclus des participantes dont le taux de progestérone était inférieur à 16 nmol/L. Ceux-ci ont atteint respectivement $4,8 \text{ nmol/L} \pm 2,4\%$ d'augmentation par rapport à la phase folliculaire et 9,54 nmol/L pendant la phase lutéale. Dans l'étude de Fridén et al. (104), les taux variaient entre 11,7 nmol/L et 17,2 nmol/L.

Dans 4 études seulement (71, 103, 106, 108), les taux de progestérone étaient supérieurs à 16 nmol/L. Trois études ont donc potentiellement inclus des participantes ayant des CM anovulatoires ou LPD. Contrairement au taux de progestérone, il n'y a pas de valeur établie pour le taux d'œstrogènes.

La dernière revue systématique publiée en 2023 par Colenso-Semple et al. (10) a examiné les conclusions de 6 autres revues systématiques et méta-analyses. Certaines de ces études ont comparé un groupe ayant des CM naturels et un groupe prenant une contraception.

En outre, sur les 6 revues systématiques, 5 avaient un score AMSTAR compris entre 5 et 7. Une revue systématique a obtenu un score de 4. La qualité de ces revues a été qualifiée de « faible à modérée ». C'est pourquoi, les auteurs ont suggéré qu'en l'absence de nouvelles études, de nouvelles revues systématiques / méta-analyses seraient peu judicieuses.

En 2019, Janse DEJX et son équipe (24) avaient déjà proposé un schéma reprenant des recommandations par étape pour vérifier la régularité des phases du CM. Celles-ci sont présentées en français dans l'annexe 1. Les chercheurs sont vivement encouragés à suivre cette méthodologie comprenant la mesure de la LH ainsi que des mesures sériques à 3 moments déterminés du CM.

De cette sorte, cela pourra éviter les disparités méthodologiques entre les études et l'utilisation d'outils comme les calendriers menstruels et la TCB qui, utilisés seuls, sont reconnus à ce jour comme non fiables.

C. *Troubles du CM*

Pour évaluer les différences des performances physiques, notamment la force musculaire, il est essentiel de disposer d'informations provenant de femmes n'ayant pas de troubles du CM (24). Les troubles menstruels qui affectent la santé reproductive (125) peuvent être divisés en deux groupes : subtils et sévères.

Les troubles menstruels subtils, tels que l'anovulation et la LPD, se manifestent chez les femmes ayant des CM réguliers. Ils nécessitent une analyse hormonale pour être détectés (125). Les CM anovulatoires sont caractérisés par un déficit de la poussée de LH (124) entraînant l'absence de formation du corps jaune et une déficience en progestérone, ce qui rend la phase lutéale insuffisante ou absente. L'ovulation peut se produire mais être suivie d'une LPD. Celle-ci est caractérisée par une durée de la phase lutéale inférieure à 10 jours ou une production insuffisante de progestérone.

Les troubles menstruels sévères regroupent l'aménorrhée (absence des règles pendant au moins 90 jours) et l'oligoménorrhée (les règles se produisent à des intervalles de 36 à 90 jours). Ils sont diagnostiqués cliniquement (125).

La prévalence des femmes souffrant de troubles menstruels subtils ou sévères est nettement supérieure chez les femmes pratiquant de l'APS. L'étude de De Souza et al. (125) a suggéré qu'environ la moitié des femmes sportives présentent des troubles menstruels subtils (LPD ou anovulation) et qu'un tiers des femmes sportives sont sujettes à être aménorrhéiques.

Après avoir établi le profil hormonal des participantes, il est essentiel d'explicitement mentionner l'exclusion des participantes ayant des troubles du CM. D'où, l'importance de suivre une méthodologie stricte pour ne pas masquer de potentiels résultats significatifs. Janse de Jonge et al. (106) avaient initialement recruté 19 femmes, mais 4 ont été exclues car le taux de progestérone n'avait pas atteint un seuil suffisant durant la phase lutéale. Il en est de même pour l'étude de Montgomery et al. (109) qui ont explicitement mentionné avoir analysé (résultats non concluants) séparément les données des participantes ayant un cycle anovulatoire. Étant donné que la taille de l'échantillon initial est souvent limitée, il serait donc prudent de recruter un groupe plus large dès le début afin d'anticiper l'exclusion potentielle de certaines participantes.

D. Concrètement ? Recommandations pratiques

Pour terminer, il est intéressant de s'interroger à qui profiterait réellement l'intérêt d'une analyse détaillée des variations de la force au cours du CM.

Les athlètes de haut niveau représentent sans doute le groupe le plus directement concerné. En effet, à ce niveau de performance, un gain minime pourrait se traduire par une amélioration significative lors des compétitions.

À l'heure actuelle, la plupart des athlètes intègrent les entraînements de musculation en complément au programme spécifique de leur sport.

On pourrait penser qu'optimiser les entraînements de musculation en fonction des fluctuations hormonales constituerait une stratégie d'entraînement non négligeable. Cette idée peut sembler prometteuse mais sa mise en œuvre s'avère bien plus complexe dans la pratique.

L'irrégularité du CM et des fluctuations hormonales, la variabilité des symptômes associés ainsi que les éventuels troubles menstruels diffèrent d'une femme à l'autre, mais aussi chez une même femme. Tout cela, rend très difficile l'établissement de recommandations standardisées ou personnalisées. Bien qu'à ce jour des recommandations méthodologiques soient disponibles pour mettre en place de futures études de meilleure qualité, nous pouvons réellement nous questionner quant à la pertinence d'établir des recommandations qui seraient applicables à toutes les athlètes. Il en est de même pour la mise en place d'un suivi individuel pour chaque athlète. D'un point de vue pratique, il semble compliqué, voire quasiment impossible, d'envisager que les athlètes effectuent des prises de sang presque quotidiennement et obtiennent les résultats le jour même pour ajuster certains aspects de leur entraînement.

C'est un défi logistique qui sur le long terme semble difficilement envisageable pour la plupart des athlètes même de haut niveau. De plus, nous pouvons nous interroger sur l'intérêt de l'utilisation de ces données concernant seulement quelques jours du CM, par rapport aux réels avantages dont bénéficierait l'athlète sur le terrain.

Si chez certaines athlètes, des variations de la force ou l'endurance musculaire pouvaient être établies à certains moments du CM, celles-ci resteraient complexes à quantifier dans la performance globale qui est influencée par de nombreux facteurs externes.

Ces facteurs tels que la nutrition, la fatigue, la qualité du sommeil, le stress, la motivation et le plaisir (10) ont des impacts bien établis sur la performance physique et, à ce jour, sont plus significatifs que le potentiel impact du CM sur les performances de force. Dans un contexte de haut niveau, la gestion de ces aspects aura des effets plus immédiats sur la performance de l'athlète.

Le CM pourrait donc être pris en compte dans la programmation générale mais il est prématuré d'en faire une priorité absolue pour périodiser les entraînements de musculation. Par conséquent, il est plus pragmatique pour les entraîneurs de recueillir des informations sur l'état général de l'athlète tout au long des cycles d'entraînements.

De cette sorte, des ajustements de la programmation concernant la charge, le volume, l'intensité ou encore les périodes de repos, pourraient être effectués en se basant sur les besoins et le ressenti de l'athlète plutôt que sur des recommandations générales.

Notons également que le suivi du CM dans la collaboration entre l'athlète et l'entraîneur pourrait également permettre de repérer les premiers signes de troubles sévères du CM. Cette surveillance pourrait servir de signal d'alarme pour détecter un surentraînement, des risques de blessures, ou prévenir l'apparition de la triade de l'athlète féminine. Cela permettrait d'orienter les athlètes vers un suivi médical complémentaire.

VI. Conclusion

Cette revue narrative n'émet pas d'évidence en faveur ou non de la périodisation des entraînements de musculation selon les différentes phases du CM.

Certes, les effets engendrés par les fluctuations hormonales liées au CM ne se limitent pas au système reproducteur puisque celles-ci impactent également d'autres systèmes tels que le système musculaire et la régulation du métabolisme énergétique.

Néanmoins à l'heure actuelle, il est encore complexe de comprendre dans quelle mesure les variations à court terme de ces hormones impactent les adaptations à long terme après un entraînement de musculation. Des biais méthodologiques tels que la difficulté de l'identification précise des phases du CM de chaque participante ou encore le contrôle des facteurs externes rendent les recherches dans ce domaine peu fiables. De futures études comprenant une méthodologie pointilleuse et ciblant une population précise offriraient des preuves de meilleure qualité. Par conséquent, de nouvelles conclusions pourraient possiblement être émises.

Sur le plan pratique, la mise en œuvre d'un suivi individuel du CM par ces méthodes s'avère très complexe. Il convient également de s'interroger quant aux avantages réels dont bénéficieraient les athlètes puisque la force constitue l'un des nombreux facteurs contribuant à la performance sportive globale.

À ce jour, il est conseillé d'adopter un suivi individualisé et régulier qui permet de prendre en compte les besoins et ressentis de l'athlète.

Bibliographie

1. Niering M, Wolf-Belala N, Seifert J, Tovar O, Coldewey J, Kuranda J, et al. The Influence of Menstrual Cycle Phases on Maximal Strength Performance in Healthy Female Adults: A Systematic Review with Meta-Analysis. *Sports (Basel)*. 2024;12(1).
2. Gamberale F, Strindberg L, Wahlberg I. Female work capacity during the menstrual cycle: physiological and psychological reactions. *Scand J Work Environ Health*. 1975;1(2):120-7.
3. Kissow J, Jacobsen KJ, Gunnarsson TP, Jessen S, Hostrup M. Effects of Follicular and Luteal Phase-Based Menstrual Cycle Resistance Training on Muscle Strength and Mass. *Sports Med*. 2022;52 (12):2813-9.
4. Costello JT, Bieuzen F, Bleakley CM. Where are all the female participants in Sports and Exercise Medicine research? *Eur J Sport Sci*. 2014;14(8):847-51.
5. Emmonds S, Heyward O, Jones B. The Challenge of Applying and Undertaking Research in Female Sport. *Sports Med Open*. 2019;5(1):51.
6. Oleka CT. Use of the Menstrual Cycle to Enhance Female Sports Performance and Decrease Sports-Related Injury. *J Pediatr Adolesc Gynecol*. 2020;33(2):110-1.
7. Stachenfeld NS. Including women in research. It's necessary, and really not so hard to do. *Exp Physiol*. 2018;103(10):1296-7.
8. Beery AK, Zucker I. Sex bias in neuroscience and biomedical research. *Neurosci Biobehav Rev*. 2011;35(3):565-72.
9. Sims ST, Heather AK. Myths and Methodologies: Reducing scientific design ambiguity in studies comparing sexes and/or menstrual cycle phases. *Exp Physiol*. 2018;103(10):1309-17.
10. Colenso-Semple LM, D'Souza AC, Elliott-Sale KJ, Phillips SM. Current evidence shows no influence of women's menstrual cycle phase on acute strength performance or adaptations to resistance exercise training. *Front Sports Act Living*. 2023;5:1054542.
11. Mujika I, Taipale RS. Sport Science on Women, Women in Sport Science. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(8):1013-4.
12. Constantini NW, Dubnov G, Lebrun CM. The Menstrual Cycle and Sport Performance. *Clinics in Sports Medicine*. 2005;24(2):e51-e82.

13. McNulty KL, Elliott-Sale KJ, Dolan E, Swinton PA, Ansdell P, Goodall S, et al. The Effects of Menstrual Cycle Phase on Exercise Performance in Eumenorrheic Women: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Med.* 2020;50(10):1813-27.
14. Dr méd. Fritz Grossenbacher DZ. [Available from: https://www.santeweb.ch/Maladies/Troubles_des_regles_Troubles_du_cycle_menstruel.html].
15. Shea AA, Vitzthum VJ. The extent and causes of natural variation in menstrual cycles: Integrating empirically-based models of ovarian cycling into research on women's health. *Drug Discovery Today: Disease Models.* 2020;32:41-9.
16. Bischof P. Les hormones sexuelles 2024 [Available from: https://www.gfmer.ch/Presentations_Fr/Hormones_sexuelles.htm].
17. Hansen M, Kjaer M. Influence of sex and estrogen on musculotendinous protein turnover at rest and after exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 2014;42(4):183-92.
18. Jabbour HN, Kelly RW, Fraser HM, Critchley HO. Endocrine regulation of menstruation. *Endocr Rev.* 2006;27(1):17-46.
19. Gharahdaghi N, Phillips BE, Szewczyk NJ, Smith K, Wilkinson DJ, Atherton PJ. Links Between Testosterone, Oestrogen, and the Growth Hormone/Insulin-Like Growth Factor Axis and Resistance Exercise Muscle Adaptations. *Front Physiol.* 2020;11:621226.
20. Meunier JC. Testostérone libre ou biodisponible : dosages ou calculs. Comparaison critique de différents modes d'approche. *Immuno-analyse & Biologie Spécialisée.* 2005;20(2):65-77.
21. Blagrove RC, Bruinvels G, Pedlar CR. Variations in strength-related measures during the menstrual cycle in eumenorrheic women: A systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport.* 2020;23(12):1220-7.
22. Stricker R, Eberhart R, Chevailler MC, Quinn FA, Bischof P, Stricker R. Establishment of detailed reference values for luteinizing hormone, follicle stimulating hormone, estradiol, and progesterone during different phases of the menstrual cycle on the Abbott ARCHITECT analyzer. *Clin Chem Lab Med.* 2006;44(7):883-7.
23. Huang G, Bhasin S, Pencina K, Cheng M, Jasuja R. Circulating dihydrotestosterone, testosterone, and free testosterone levels and dihydrotestosterone-to-testosterone ratios in healthy women across the menstrual cycle. *Fertil Steril.* 2022;118(6):1150-8.

24. Janse DEJX, Thompson B, Han A. Methodological Recommendations for Menstrual Cycle Research in Sports and Exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(12):2610-7.
25. Oosthuysen T, Bosch AN. The effect of the menstrual cycle on exercise metabolism: implications for exercise performance in eumenorrhoeic women. (1179-2035 (Electronic)).
26. Meignié A, Duclos M, Carling C, Orhant E, Provost P, Toussaint JF, et al. The Effects of Menstrual Cycle Phase on Elite Athlete Performance: A Critical and Systematic Review. *Front Physiol.* 2021;12:654585.
27. Häggström M. Reference ranges for estradiol, progesterone, luteinizing hormone and follicle-stimulating hormone during the menstrual cycle. *Wikiversity Journal of Medicine.* 2014;1.
28. Horvath SM, Drinkwater BL. Thermoregulation and the menstrual cycle. *Aviat Space Environ Med.* 1982;53(8):790-4.
29. Marshall J. Thermal Changes in the Normal Menstrual Cycle. *Br Med J.* 1963;1(5323):102-4.
30. Miller PB, Soules MR. The usefulness of a urinary LH kit for ovulation prediction during menstrual cycles of normal women. *Obstet Gynecol.* 1996;87(1):13-7.
31. Su HW, Yi YC, Wei TY, Chang TC, Cheng CM. Detection of ovulation, a review of currently available methods. *Bioeng Transl Med.* 2017;2(3):238-46.
32. Goodwin JE, Cleather DJ. The biomechanical principles underpinning strength and conditioning. *Strength and conditioning for sports performance: Routledge;* 2016. p. 78-108.
33. Wolfe RR. The underappreciated role of muscle in health and disease. *Am J Clin Nutr.* 2006;84(3):475-82.
34. KRAEMER WJ, RATAMESS NA. Fundamentals of Resistance Training: Progression and Exercise Prescription. *Medicine & Science in Sports & Exercise.* 2004;36(4):674-88.
35. Stone M, Stone M, Lamont H. Explosive exercise. *National Strength and Conditioning Association Journal.* 1993;15(4):7-15.
36. Suchomel TJ, Nimphius S, Bellon CR, Stone MH. The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Med.* 2018;48(4):765-85.

37. Maffiuletti NA, Aagaard P, Blazevich AJ, Folland J, Tillin N, Duchateau J. Rate of force development: physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*. 2016;116(6):1091-116.
38. Andrade MDS, De Lira CAB, Koffes FDC, Mascarin NC, Benedito-Silva AA, Da Silva AC. Isokinetic hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio: The influence of sport modality, gender, and angular velocity. *Journal of Sports Sciences*. 2012;30(6):547-53.
39. Tillin NA, Bishop D. Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. (0112-1642 (Print)).
40. Mohr M, Krstrup P Fau - Nybo L, Nybo L Fau - Nielsen JJ, Nielsen Jj Fau - Bangsbo J, Bangsbo J. Muscle temperature and sprint performance during soccer matches--beneficial effect of re-warm-up at half-time. (0905-7188 (Print)).
41. Haun CT, Vann CG, Roberts BM, Vigotsky AD, Schoenfeld BJ, Roberts MD. A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matters but So Does the Measurement. *Front Physiol*. 2019;10:247.
42. Brandenburg JP, Docherty D. The effects of accentuated eccentric loading on strength, muscle hypertrophy, and neural adaptations in trained individuals. *J Strength Cond Res*. 2002;16(1):25-32.
43. Masamoto N, Larson R, Gates T, Faigenbaum A. Acute effects of plyometric exercise on maximum squat performance in male athletes. *J Strength Cond Res*. 2003;17(1):68-71.
44. Izquierdo M, González-Badillo JJ, Häkkinen K, Ibáñez J, Kraemer WJ, Altadill A, et al. Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med*. 2006;27(9):718-24.
45. Deschenes MR, Kraemer WJ. Performance and Physiologic Adaptations to Resistance Training. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*. 2002;81(11):S3-S16.
46. Haff G, Triplett NT. Essentials of strength training and conditioning. Fourth edition. ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2016.
47. Schoenfeld BJ, Grgic J, Van Every DW, Plotkin DL. Loading Recommendations for Muscle Strength, Hypertrophy, and Local Endurance: A Re-Examination of the Repetition Continuum. *Sports (Basel)*. 2021;9(2).
48. McDonagh MJ, Davies CT. Adaptive response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1984;52(2):139-55.

49. Mitchell CJ, Churchward-Venne TA, West DW, Burd NA, Breen L, Baker SK, et al. Resistance exercise load does not determine training-mediated hypertrophic gains in young men. *J Appl Physiol* (1985). 2012;113(1):71-7.
50. Hunter SK. Sex differences in human fatigability: mechanisms and insight to physiological responses. *Acta Physiol (Oxf)*. 2014;210(4):768-89.
51. Suchomel TJ, Nimphius S, Stone MH. The Importance of Muscular Strength in Athletic Performance. *Sports Med*. 2016;46(10):1419-49.
52. Viecelli C, Ewald CY. The non-modifiable factors age, gender, and genetics influence resistance exercise. *Front Aging*. 2022;3:1005848.
53. Frontera WR, Ochala J. Skeletal muscle: a brief review of structure and function. *Calcif Tissue Int*. 2015;96(3):183-95.
54. Smith JAB, Murach KA, Dyar KA, Zierath JR. Exercise metabolism and adaptation in skeletal muscle. *Nat Rev Mol Cell Biol*. 2023;24(9):607-32.
55. Lieber RL, Ward SR. Skeletal muscle design to meet functional demands. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2011;366(1570):1466-76.
56. Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell Metab*. 2013;17(2):162-84.
57. Fluck M, Hoppeler H. Molecular basis of skeletal muscle plasticity--from gene to form and function. *Rev Physiol Biochem Pharmacol*. 2003;146:159-216.
58. Francaux M, Deldicque L. Exercise and the control of muscle mass in human. *Pflugers Arch*. 2019;471(3):397-411.
59. Kraemer WJ, Ratamess NA, Hymer WC, Nindl BC, Fragala MS. Growth Hormone(s), Testosterone, Insulin-Like Growth Factors, and Cortisol: Roles and Integration for Cellular Development and Growth With Exercise. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2020;11:33.
60. Hooper DR, Kraemer WJ, Focht BC, Volek JS, DuPont WH, Caldwell LK, et al. Endocrinological Roles for Testosterone in Resistance Exercise Responses and Adaptations. *Sports Med*. 2017;47(9):1709-20.
61. Romagnoli C, Zonefrati R, Sharma P, Innocenti M, Cianferotti L, Brandi ML. Characterization of Skeletal Muscle Endocrine Control in an In Vitro Model of Myogenesis. *Calcif Tissue Int*. 2020;107(1):18-30.
62. Vingren JL, Kraemer WJ, Ratamess NA, Anderson JM, Volek JS, Maresh CM. Testosterone physiology in resistance exercise and training: the up-stream regulatory elements. *Sports Med*. 2010;40(12):1037-53.

63. Dubois V, Laurent MR, Sinnesael M, Cielen N, Helsen C, Clinckemalie L, et al. A satellite cell-specific knockout of the androgen receptor reveals myostatin as a direct androgen target in skeletal muscle. *Faseb j.* 2014;28(7):2979-94.
64. White JP, Gao S, Puppa MJ, Sato S, Welle SL, Carson JA. Testosterone regulation of Akt/mTORC1/FoxO3a signaling in skeletal muscle. *Mol Cell Endocrinol.* 2013;365(2):174-86.
65. MacLean HE, Chiu WS, Notini AJ, Axell AM, Davey RA, McManus JF, et al. Impaired skeletal muscle development and function in male, but not female, genomic androgen receptor knockout mice. *Faseb j.* 2008;22(8):2676-89.
66. Nicholls AR, Holt RI. Growth Hormone and Insulin-Like Growth Factor-1. *Front Horm Res.* 2016;47:101-14.
67. Consitt LA, Saneda A, Saxena G, List EO, Kopchick JJ. Mice overexpressing growth hormone exhibit increased skeletal muscle myostatin and MuRF1 with attenuation of muscle mass. *Skelet Muscle.* 2017;7(1):17.
68. Velloso CP. Regulation of muscle mass by growth hormone and IGF-I. *Br J Pharmacol.* 2008;154(3):557-68.
69. Szewczyk NJ, Jacobson LA. Signal-transduction networks and the regulation of muscle protein degradation. *Int J Biochem Cell Biol.* 2005;37(10):1997-2011.
70. Braga M, Bhasin S, Jasuja R, Pervin S, Singh R. Testosterone inhibits transforming growth factor- β signaling during myogenic differentiation and proliferation of mouse satellite cells: potential role of follistatin in mediating testosterone action. *Mol Cell Endocrinol.* 2012;350(1):39-52.
71. Reis E, Frick U, Schmidtbleicher D. Frequency variations of strength training sessions triggered by the phases of the menstrual cycle. *Int J Sports Med.* 1995;16(8):545-50.
72. McClung JM, Davis Jm Fau - Wilson MA, Wilson Ma Fau - Goldsmith EC, Goldsmith Ec Fau - Carson JA, Carson JA. Estrogen status and skeletal muscle recovery from disuse atrophy. (8750-7587 (Print)).
73. Decker MJ, Torry MR, Wyland DJ, Sterett WI, Richard Steadman J. Gender differences in lower extremity kinematics, kinetics and energy absorption during landing. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(7):662-9.
74. Chaudhari AM, Zelman EA, Flanigan DC, Kaeding CC, Nagaraja HN. Anterior cruciate ligament-injured subjects have smaller anterior cruciate ligaments than matched controls: a magnetic resonance imaging study. *Am J Sports Med.* 2009;37(7):1282-7.

75. Smith MJ, Adams LF, Schmidt PJ, Rubinow DR, Wassermann EM. Effects of ovarian hormones on human cortical excitability. *Ann Neurol.* 2002;51(5):599-603.
76. Lowe DA, Baltgalvis KA, Greising SM. Mechanisms Behind Estrogen's Beneficial Effect on Muscle Strength in Females. *Exercise and Sport Sciences Reviews.* 2010;38(2).
77. Baltgalvis KA, Greising SM, Warren GL, Lowe DA. Estrogen regulates estrogen receptors and antioxidant gene expression in mouse skeletal muscle. *PLoS One.* 2010;5(4):e10164.
78. Ikeda K, Horie-Inoue K, Inoue S. Functions of estrogen and estrogen receptor signaling on skeletal muscle. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology.* 2019;191:105375.
79. Oosthuyse T, Bosch AN. Oestrogen's regulation of fat metabolism during exercise and gender specific effects. *Current Opinion in Pharmacology.* 2012;12(3):363-71.
80. Kokkonen J, Nelson AG, Cornwell A. Acute Muscle Stretching Inhibits Maximal Strength Performance. *Research Quarterly for Exercise and Sport.* 1998;69(4):411-5.
81. Oosthuyse T, Bosch AN. The effect of the menstrual cycle on exercise metabolism: implications for exercise performance in eumenorrhoeic women. *Sports Med.* 2010;40(3):207-27.
82. Nelson LR, Bulun SE. Estrogen production and action. *J Am Acad Dermatol.* 2001;45(3 Suppl):S116-24.
83. Luk HY, Kraemer WJ, Szivak TK, Flanagan SD, Hooper DR, Kupchak BR, et al. Acute resistance exercise stimulates sex-specific dimeric immunoreactive growth hormone responses. *Growth Horm IGF Res.* 2015;25(3):136-40.
84. Moran AL, Warren GL, Lowe DA. Removal of ovarian hormones from mature mice detrimentally affects muscle contractile function and myosin structural distribution. *J Appl Physiol (1985).* 2006;100(2):548-59.
85. Hansen M. Female hormones: do they influence muscle and tendon protein metabolism? *Proc Nutr Soc.* 2018;77(1):32-41.
86. de Mouzon J, Testart J, Lefevre B, Pouly JL, Frydman R. Time relationships between basal body temperature and ovulation or plasma progestins. *Fertil Steril.* 1984;41(2):254-9.

87. Franssen H, Wieneke GH. Nerve conduction and temperature: necessary warming time. *Muscle Nerve*. 1994;17(3):336-44.
88. Oksa J, Rintamäki H, Mäkinen T, Hassi J, Rusko H. Cooling-induced changes in muscular performance and EMG activity of agonist and antagonist muscles. *Aviat Space Environ Med*. 1995;66(1):26-31.
89. Cook CJ, Kilduff LP, Crewther BT. Basal and stress-induced salivary testosterone variation across the menstrual cycle and linkage to motivation and muscle power. *Scand J Med Sci Sports*. 2018;28(4):1345-53.
90. Dougherty DM, Bjork JM, Moeller FG, Swann AC. The influence of menstrual-cycle phase on the relationship between testosterone and aggression. *Physiol Behav*. 1997;62(2):431-5.
91. Crewther BT, Cook C, Cardinale M, Weatherby RP, Lowe T. Two emerging concepts for elite athletes: the short-term effects of testosterone and cortisol on the neuromuscular system and the dose-response training role of these endogenous hormones. *Sports Med*. 2011;41(2):103-23.
92. Willett HN, Koltun KJ, Hackney AC. Influence of Menstrual Cycle Estradiol- β -17 Fluctuations on Energy Substrate Utilization-Oxidation during Aerobic, Endurance Exercise. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(13).
93. Tarnopolsky MA. Sex differences in exercise metabolism and the role of 17-beta estradiol. *Med Sci Sports Exerc*. 2008;40(4):648-54.
94. Lin G, Siddiqui R, Lin Z, Blodgett JM, Patel SN, Truong KN, et al. Blood glucose variance measured by continuous glucose monitors across the menstrual cycle. *NPJ Digit Med*. 2023;6(1):140.
95. Sylow L, Kleinert M, Richter EA, Jensen TE. Exercise-stimulated glucose uptake - regulation and implications for glycaemic control. *Nat Rev Endocrinol*. 2017;13(3):133-48.
96. Lee SJ, Campomanes CR, Sikat PT, Greenfield AT, Allen PB, McEwen BS. Estrogen induces phosphorylation of cyclic AMP response element binding (pCREB) in primary hippocampal cells in a time-dependent manner. *Neuroscience*. 2004;124(3):549-60.
97. Mangan G, Bombardier E, Mitchell AS, Quadrilatero J, Tiidus PM. Oestrogen-dependent satellite cell activation and proliferation following a running exercise occurs via the PI3K signalling pathway and not IGF-1. *Acta Physiol (Oxf)*. 2014;212(1):75-85.
98. Hansen M, Skovgaard D, Reitelseder S, Holm L, Langbjerg H, Kjaer M. Effects of estrogen replacement and lower androgen status on skeletal muscle

collagen and myofibrillar protein synthesis in postmenopausal women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 2012;67(10):1005-13.

99. Fruzzetti F, Lello S, Lazzarini V, Fratta S, Orrù M, Sorge R, et al. The oral contraceptive containing 30 microg of ethinylestradiol plus 3 mg of drospirenone is able to antagonize the increase of extracellular water occurring in healthy young women during the luteal phase of the menstrual cycle: an observational study. *Contraception*. 2007;75(3):199-203.

100. Stachoń AJ. Menstrual Changes in Body Composition of Female Athletes. *Coll Antropol*. 2016;40(2):111-22.

101. Akturk M, Toruner F, Aslan S, Altinova AE, Cakir N, Elbeg S, et al. Circulating insulin and leptin in women with and without premenstrual dysphoric disorder in the menstrual cycle. *Gynecol Endocrinol*. 2013;29(5):465-9.

102. Arazi H, Nasiri S, Eghbali E. Is there a difference toward strength, muscular endurance, anaerobic power and hormonal changes between the three phase of the menstrual cycle of active girls? *Apunts Medicina de l'Esport*. 2019;54(202):65-72.

103. Elliott KJ, Cable NT, Reilly T, Diver MJ. Effect of menstrual cycle phase on the concentration of bioavailable 17-beta oestradiol and testosterone and muscle strength. *Clin Sci (Lond)*. 2003;105(6):663-9.

104. Fridén C, Hirschberg AL, Saartok T. Muscle strength and endurance do not significantly vary across 3 phases of the menstrual cycle in moderately active premenopausal women. *Clin J Sport Med*. 2003;13(4):238-41.

105. Hoeger Bement MK, Rasiarimos RL, DiCapo JM, Lewis A, Keller ML, Harkins AL, et al. The role of the menstrual cycle phase in pain perception before and after an isometric fatiguing contraction. *Eur J Appl Physiol*. 2009;106(1):105-12.

106. Janse de Jonge XA, Boot CR, Thom JM, Ruell PA, Thompson MW. The influence of menstrual cycle phase on skeletal muscle contractile characteristics in humans. *J Physiol*. 2001;530(Pt 1):161-6.

107. Köse B. Analysis of the Effect of Menstrual Cycle Phases on Aerobic-Anaerobic Capacity and Muscle Strength. *Journal of Education and Training Studies*. 2018;6(8).

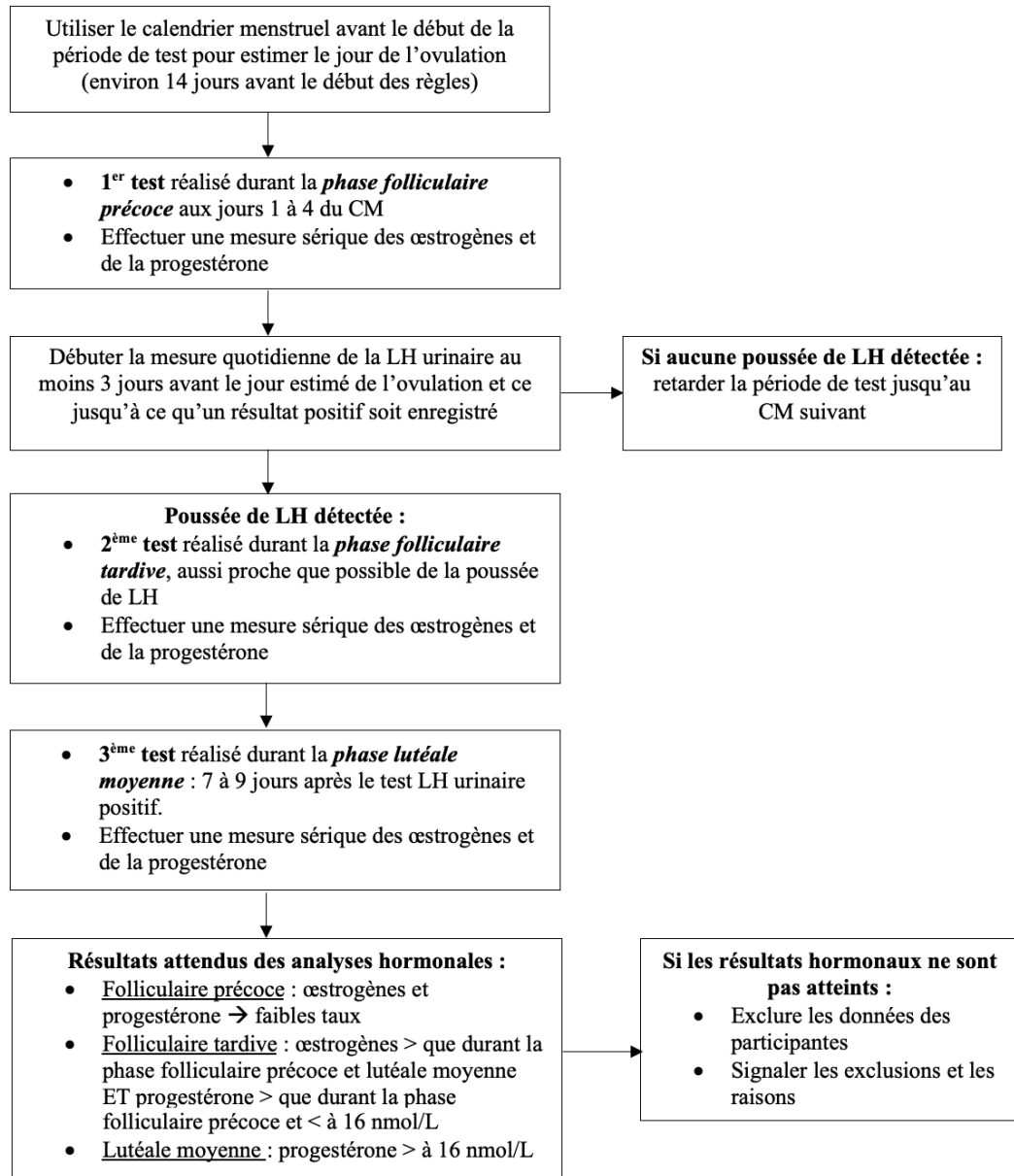
108. Kubo K, Miyamoto M, Tanaka S, Maki A, Tsunoda N, Kanehisa H. Muscle and tendon properties during menstrual cycle. *Int J Sports Med*. 2009;30(2):139-43.

109. Montgomery MM, Shultz SJ. Isometric knee-extension and knee-flexion torque production during early follicular and postovulatory phases in recreationally active women. *J Athl Train*. 2010;45(6):586-93.
110. Romero-Moraleda B, Coso JD, Gutierrez-Hellin J, Ruiz-Moreno C, Grgic J, Lara B. The Influence of the Menstrual Cycle on Muscle Strength and Power Performance. *J Hum Kinet*. 2019;68:123-33.
111. Sakamaki-Sunaga M, Min S, Kamemoto K, Okamoto T. Effects of Menstrual Phase-Dependent Resistance Training Frequency on Muscular Hypertrophy and Strength. *J Strength Cond Res*. 2016;30(6):1727-34.
112. Ashraf S, Yousuf N, Nisar S, Gupta R, Gupta M. Muscle strength variations and rate of fatigue in various phases of the menstrual cycle in young adult females of Jammu. *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology*. 2023(0).
113. Bambaiechi E, Reilly T, Cable NT, Giacomoni M. The isolated and combined effects of menstrual cycle phase and time-of-day on muscle strength of eumenorrheic females. *Chronobiol Int*. 2004;21(4-5):645-60.
114. Das. Study of Hand Grip Strength, Handgrip Endurance and Fatigue in Different Phases of Menstrual Cycle of Adults. *Journal of Population Therapeutics and Clinical Pharmacology*. 2023;30(16).
115. Forouzandeh Shahraki S, Minoonejad H, Moghadas Tabrizi Y. Comparison of some intrinsic risk factors of shoulder injury in three phases of menstrual cycle in collegiate female athletes. *Phys Ther Sport*. 2020;43:195-203.
116. Pallavi LC, UJ DS, Shivaprakash G. Assessment of Musculoskeletal Strength and Levels of Fatigue during Different Phases of Menstrual Cycle in Young Adults. *J Clin Diagn Res*. 2017;11(2):CC11-CC3.
117. Pournasiri F, Zarei M, Mainer-Pardos E, Nobari H. Isometric and isokinetic strength of lower-limb muscles in female athletes during different phases of menstrual cycle: a causal-comparative study. *BMC Womens Health*. 2023;23(1):657.
118. Rodrigues P, Correia M, Wharton L. Effect of Menstrual Cycle on Muscle Strength. *Journal of Exercise Physiology Online*. 2019;22:89-97.
119. Tenan MS, Hackney AC, Griffin L. Maximal force and tremor changes across the menstrual cycle. *Eur J Appl Physiol*. 2016;116(1):153-60.
120. Sung E, Han A, Hinrichs T, Vorgerd M, Manchado C, Platen P. Effects of follicular versus luteal phase-based strength training in young women. *Springerplus*. 2014;3:668.

121. Jung R, Gehlert S, Geisler S, Isenmann E, Eyre J, Zinner C. Muscle strength gains per week are higher in the lower-body than the upper-body in resistance training experienced healthy young women-A systematic review with meta-analysis. *PLoS One*. 2023;18(4):e0284216.
122. Creinin MD, Keverline S, Meyn LA. How regular is regular? An analysis of menstrual cycle regularity. *Contraception*. 2004;70(4):289-92.
123. Bauman JE. Basal body temperature: unreliable method of ovulation detection. *Fertil Steril*. 1981;36(6):729-33.
124. Schaumberg MA, Jenkins DG, Janse de Jonge XAK, Emmerton LM, Skinner TL. Three-step method for menstrual and oral contraceptive cycle verification. *J Sci Med Sport*. 2017;20(11):965-9.
125. De Souza MJ, Toombs RJ, Scheid JL, O'Donnell E, West SL, Williams NI. High prevalence of subtle and severe menstrual disturbances in exercising women: confirmation using daily hormone measures. *Hum Reprod*. 2010;25(2):491-503.

Annexes

Annexe 1 : Recommandations méthodologiques émises par Janse DEJX et al. pour vérifier les phases du CM.



Résumé :

Objectif : L'objectif de cette revue narrative est de faire le point sur les connaissances scientifiques actuelles concernant l'intérêt de périodiser les entraînements de musculation en fonction des phases du cycle menstruel pour optimiser les adaptations induites par ceux-ci.

Méthode : Plusieurs bases de données ont été consultées (PubMed, Embase, Cochrane, Google Scholar et Scopus). Au total, 20 études ont été incluses.

Résultats : Les résultats de cette revue n'émettent pas d'évidence en faveur ou non de prendre en compte le cycle menstruel pour élaborer une planification des entraînements de musculation.

Conclusion : Cette revue a révélé de nombreux biais méthodologiques qui compromettent la fiabilité des résultats, en particulier en ce qui concerne la méthodologie employée pour déterminer les phases du cycle menstruel. En outre, la mise en place de méthodes pointilleuses pour effectuer un suivi individuel s'avère complexe et les potentiels bénéfices demeurent encore incertains. À ce jour, il est recommandé d'adapter la programmation des entraînements de musculation en tenant compte des variations potentielles du cycle au même titre que d'autres facteurs établis pouvant influencer la performance et le bien-être.