

Faculté des sciences de la motricité

Effet de l'entraînement de sprints répétés en hypoxie sur la performance en normoxie chez les sportifs masculins et féminins

Auteurs : Antoine DARDENNE et Julian MONT

Promotrice : Anna PIPERI

Co-promotrice : Pr Louise DELDICQUE

Année académique 2023-2024

Master en sciences de la motricité, orientation éducation physique,
finalité didactique [120.0] – EDPH2M

Remerciements

Nous souhaitons tout d'abord exprimer notre profonde gratitude envers notre promotrice, Anna Piperi, pour ses conseils éclairés, son suivi attentif et son engagement tout au long de l'élaboration de notre mémoire.

Nous remercions également le laboratoire d'effort de l'UCLouvain, nos co-mémorants et les participants, sans qui cette étude n'aurait pas été possible.

Ensuite, nous tenons particulièrement à remercier Laurence Plennevaux et Sandrine Vanhoutte pour la correction de ce travail.

Enfin, nous voudrions exprimer notre reconnaissance envers nos familles et nos amis pour leur soutien indéfectible tout au long de nos études.

Table des matières

1. Introduction	6
1.1. Les femmes et le sport.....	7
1.1.1 Taux de participation des femmes dans le domaine sportif	7
1.1.2. La recherche scientifique et les femmes	8
1.2. Les différences entre les hommes et les femmes	8
1.2.1. Les différences physiologiques	8
1.2.2. Les différences anthropométriques	10
1.3. Les effets du cycle menstruel	11
1.4. Entraînement de sprints répétés (RST).....	14
1.4.1. Effet RST.....	14
1.5. Entraînement en condition hypoxique.....	16
1.5.1. Types d'hypoxie	16
1.5.2. RSH vs RSN	17
1.5.3. RSH chez les femmes.....	18
2. Méthode.....	20
2.1. Sujets	20
2.2. Design.....	21
2.3. Description de l'entraînement	22
2.4. Description des tests	23
2.4.1. Pré-test et post-test	23
2.4.2. Paramètres des tests.....	24
3. Résultats.....	29
3.1. Nombre de sprints	29
3.2. Puissance moyenne.....	30
3.3. Puissance maximale	30
3.4. Lactate	32
3.5. Index de saturation tissulaire (TSI)	33
3.6. Perception de l'effort.....	34
4. Discussion.....	36
4.1. Nombre de sprints	36
4.2. Indice de saturation tissulaire	37
4.3. Puissance moyenne et maximale.....	40

4.4.	Perception de l'effort.....	42
4.5.	Lactate	43
4.6.	Limites de l'étude	44
5.	Conclusion.....	46
6.	Bibliographie	47
7.	Annexes	51

1. Introduction

Avec la participation accrue des femmes dans le milieu sportif, il est essentiel d'élaborer des stratégies d'entraînement adaptées au genre afin d'améliorer leur performance physique. En effet, les hommes et les femmes présentent des caractéristiques anthropométriques et physiologiques spécifiques au sexe qui peuvent les amener à réagir différemment au stress métabolique induit par l'exercice (1).

Malgré ces différences notables entre les sexes, les études portant sur les femmes dans la médecine du sport et de l'exercice sont encore peu nombreuses (2). De ce fait, les femmes reçoivent actuellement les mêmes recommandations en termes d'entraînement que les hommes, ce qui peut conduire à des performances sous-optimales en raison des différences physiologiques connues entre les sexes (2).

Il a été prouvé que des sprints de courte durée à effort maximal (≤ 10 s), entrecoupés de temps de récupération courts (≤ 60 s) semblent être une modalité d'entraînement efficace et rapide pour les adaptations physiques chez les athlètes qui pratiquent des sports d'équipe, de raquettes et de combats (3). Plus spécifiquement, en se basant sur la littérature scientifique actuelle, il a été avancé que les entraînements de sprints répétés en hypoxie (RSH) améliorent davantage la performance lors des sprints répétés au niveau de la mer que lors d'entraînements de sprints répétés en normoxie (RSN) (4). Cependant, il semblerait qu'aucune étude n'ait comparé les effets des sprints répétés en hypoxie sur les performances de sprints répétés en normoxie entre les sexes à l'heure actuelle.

Au vu du manque de littérature scientifique portant sur les femmes dans le milieu sportif, nous trouvons qu'il est primordial d'étoffer ce champ de recherche afin de proposer aux femmes des stratégies d'entraînement qui seraient propres à leurs caractéristiques. C'est pourquoi l'objectif de cette étude serait de comparer les effets des sprints répétés en hypoxie (RSH) sur les performances des sprints répétés en normoxie (RSN) entre les sexes.

1.1. Les femmes et le sport

1.1.1 Taux de participation des femmes dans le domaine sportif

La participation des femmes dans le monde sportif ne cesse d'augmenter. La Fédération Wallonie-Bruxelles (FWB) le prouve via l'évolution du nombre d'affiliés dans les Fédérations sportives par sexe (fig. 1) (5).

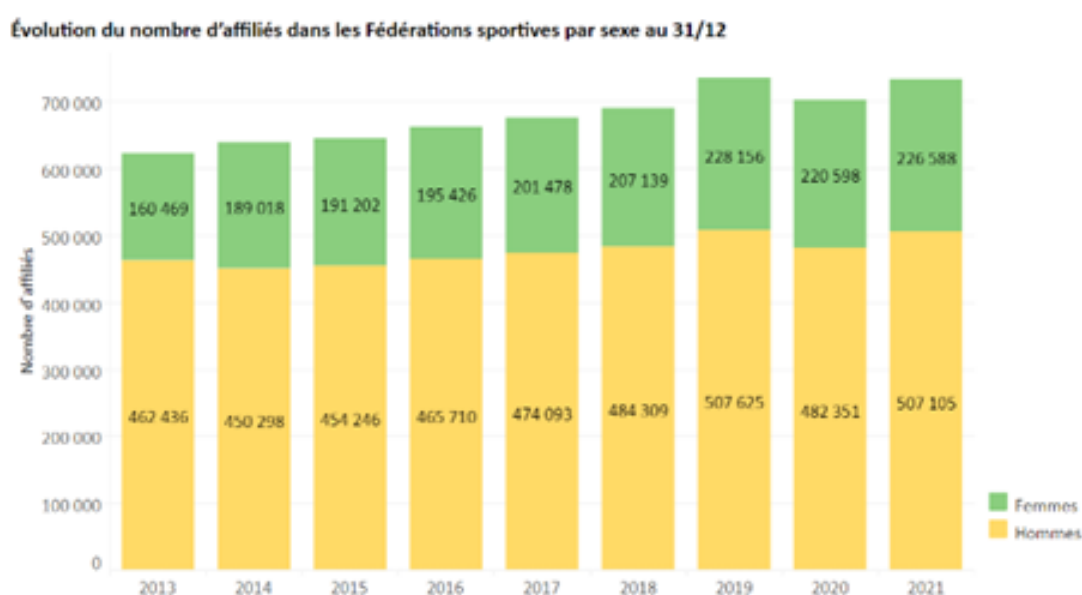


Fig. 1. Evolution du nombre d'affiliés dans les Fédérations sportives par sexe par année en Belgique (Fédération Wallonie-Bruxelles).

En effet, le nombre de femmes affiliées dans une Fédération sportive a augmenté de 41,2% de 2013 à 2021. Une augmentation similaire de la participation féminine dans le domaine du sport se remarque aussi aux Etats-Unis (6).

La Charte olympique précise qu'il est du ressort du Comité International Olympique « d'encourager et de soutenir la promotion des femmes dans le sport à tous les niveaux et dans toutes les structures, en vue de mettre en œuvre le principe de l'égalité des hommes et des femmes » (7). Lors de la création des Jeux olympiques modernes en 1896, aucune femme n'était autorisée à participer à quelque épreuve que ce soit. Ce n'est qu'en 1984, près d'un siècle plus tard, que les femmes ont été autorisées pour la première fois à participer au marathon olympique, une autorisation accordée 12 ans après avoir obtenu légalement le droit de participer aux marathons de Boston et de New York. Depuis lors, une augmentation

significative de la participation féminine dans le marathon ainsi que dans de nombreuses autres épreuves d'endurance a été constatée (8).

1.1.2. La recherche scientifique et les femmes

Malgré l'augmentation du nombre de femmes pratiquant des sports, les femmes participantes sont sous-représentées dans la littérature concernant la médecine du sport et de l'exercice. Le pourcentage absolu de femmes participant est nettement inférieur à celui des hommes, et le ratio hommes/femmes par article est presque deux fois plus élevé (9).

Dans le monde de la recherche physiologique et sportive, les femmes sont soumises aux mêmes recommandations que les hommes malgré les différences entre les sexes (2).

1.2. Les différences entre les hommes et les femmes

1.2.1. Les différences physiologiques

L'avantage des hommes dans la performance de l'exercice d'endurance a généralement été attribué à une meilleure $VO_2\text{max}$, un déterminant clé de la performance aérobie. Il est bien connu que l'apport d'oxygène est un des principaux facteurs limitants chez les athlètes souhaitant améliorer leur $VO_2\text{max}$. Lorsque l'intensité de l'exercice va s'approcher des niveaux maximaux, la VO_2 va atteindre un plateau appelé $VO_2\text{max}$. En cas de nouvelles augmentations de l'intensité, ce plateau ne sera plus affecté (8). La $VO_2\text{max}$ représente donc une variable importante qui impose une limite supérieure à la performance en endurance (10).

La raison pour laquelle la consommation d'oxygène (VO_2) augmente avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice, c'est qu'il y a une plus grande demande d'oxygène de la part des muscles. L'augmentation du besoin en oxygène survient car la quasi-totalité de l'énergie utilisée pendant un exercice aérobie est régénérée dans les mitochondries grâce au métabolisme oxydatif. Cette augmentation de la consommation d'oxygène est accompagnée par des augmentations d'un certain nombre de variables cardiovasculaires et respiratoires telles que la fréquence cardiaque, la ventilation et le volume systolique (8).

L'incapacité des femmes à égaler la consommation d'oxygène des hommes est souvent attribuée à des facteurs centraux impliqués dans l'administration de l'oxygène pendant l'exercice tels que la ventilation pulmonaire, la diffusion à travers la membrane capillaire pulmonaire, le débit cardiaque et la masse d'hémoglobine. A ceux-ci s'ajoutent des facteurs périphériques tels que le flux sanguin des muscles squelettiques et la diffusion de l'oxygène de la microcirculation vers le muscle. Effectivement, les femmes ont généralement un cœur, des poumons et une masse d'hémoglobine plus faibles que les hommes limitant ainsi leur capacité à fournir de l'oxygène aux muscles qui travaillent (8).

Cependant, la VO_{2max} n'est pas le seul déterminant de la performance d'endurance. En effet, il existe d'autres facteurs physiologiques qui ont un impact sur la variabilité inter-individuelle entre les athlètes d'endurance d'élite. Notamment l'économie de course à pied ainsi que le seuil de lactate (8).

L'économie de course correspond au ratio entre le travail réalisé et l'énergie dépensée. Il a été constaté que pour une même VO_{2max} , l'économie de course permet d'expliquer une partie de la variabilité des performances lors de course à distance (10). De plus, il a été démontré qu'en comparant les hommes et les femmes par rapport à leur VO_{2max} relative, les femmes montraient une meilleure économie de course sur un large spectre de vitesses de course sous-maximales. Ceci implique que l'économie de course pourrait en partie compenser la réduction de la VO_{2max} chez les femmes (8). Cette hypothèse est soutenue par l'étude de Mendonca et al. (1985), dont les résultats suggèrent que des valeurs plus faibles de VO_{2max} chez les athlètes féminines sont en partie compensées par une diminution du coût brut de l'oxygène lors de la course sous-maximale (11).

Le seuil de lactate quant à lui représente le niveau d'intensité de l'exercice le plus élevé avant que la production de lactate ne dépasse sa capacité d'élimination, entraînant une accumulation de lactate dans le sang pendant l'exercice (8). Dans une étude de Støa et al. (2020), il a été démontré que les athlètes féminines possèdent un seuil de lactate supérieur à ceux des athlètes masculins. Cependant, les hommes ayant une VO_{2max} supérieure, induit que les femmes ont tout de même des vitesses de course plus faibles au seuil lactate (12).

Dans l'étude de Ansdell et al. (2020), comparant la fatigue musculaire entre les hommes et les femmes, il est apparu que les sujets féminins montrent une meilleure résistance à la fatigue lors d'un exercice réalisé par un seul membre du corps. En effet, bien que la relation puissance-durée soit similaire, il s'est avéré que les mécanismes de fatigue diffèrent entre les sexes. Les femmes ont une désoxygénation musculaire moindre ainsi qu'une récupération de la fonction musculaire plus rapide après l'exercice comparé aux hommes (13). De plus, les femmes présentent une plus grande résistance à la fatigue en raison d'une surface proportionnelle de fibres de type I plus importante (8). Succinctement, malgré le fait que la performance relative ne varie pas, les mécanismes de fatigue sont quant à eux influencés par le sexe (13). Ainsi, lorsque les femmes s'engagent dans des tâches ne sollicitant pas le système cardio-respiratoire, elles montrent une plus grande capacité de métabolisme oxydatif et de résistance à la fatigue. Cependant, lors des activités impliquant l'ensemble du corps, des facteurs tels que la ventilation, le débit cardiaque et l'hémoglobine, qui influent sur le transport de l'oxygène, jouent un rôle significatif. Par conséquent, il est possible que pour les exercices impliquants tout le corps, l'avantage féminin disparaisse (8).

Une autre différence observable entre les sexes est que lors d'exercices d'endurance sous maximale, les femmes oxydent davantage de lipides et diminuent donc l'oxydation des glucides et des protéines, comparé aux hommes (14). Cela induit une utilisation plus faible du glycogène dans le muscle squelettique ainsi qu'une production de glucose hépatique moindre chez les femmes par rapport aux hommes (15).

1.2.2. Les différences anthropométriques

Les femmes présentent des désavantages majeurs par rapport aux hommes qui, en moyenne, sont physiquement plus grands, plus forts et plus rapides. De plus, les hommes bénéficient généralement d'une meilleure endurance en raison de leur masse musculaire et osseuse supérieure, ainsi qu'un niveau plus élevé d'hémoglobine circulante (12).

La différence de taille entre les sexes est un paramètre qu'il faut prendre en compte dans la performance sportive car la taille est un prédicteur de la masse musculaire. Les différences entre les sexes apparaissent après la puberté masculine notamment dû à la concentration de testostérone circulante (16). En effet, l'étude de Jelenkovic et al. (2016) met en avant que chez les enfants, les garçons ont en général une taille moyenne plus grande que les filles. Cependant, à l'âge de 11-12 ans, les filles auraient tendance à légèrement dépasser les garçons, en raison d'une poussée de croissance pubertaire plus précoce chez celles-ci (17).

La composition corporelle des femmes varie de celle des hommes. Les hommes ont tendance à avoir une plus grande proportion de masse maigre, tandis que les femmes ont généralement un pourcentage de masse grasse plus élevé (15-20% vs 30-35%) pour un même indice de masse corporelle (IMC) (18). Les hommes sont plus enclin à stocker du tissu adipeux autour de leur tronc et de leur abdomen, tandis que les femmes ont tendance à accumuler davantage de tissu adipeux autour de leurs hanches et de leurs cuisses. Concernant la masse musculaire, les disparités entre les sexes en termes de masse musculaire se manifestent pendant la puberté, avec une augmentation de la taille des muscles chez les hommes par rapport aux femmes. Cette différence est d'autant plus marquée dans le haut du corps (19).

1.3. Les effets du cycle menstruel

Les femmes sont souvent perçues comme plus difficiles à étudier en raison de leur complexité hormonale. Chaque cycle menstruel présente des différences que ce soit d'un point de vue inter ou intra-individuel (20).

Chez les femmes euménorrhéiques, les hormones stéroïdiennes telles que l'œstrogène et la progestérone fluctuent durant le cycle menstruel comme nous pouvons l'observer sur la figure 2 provenant de l'étude de Kissow et al. (2022). Un cycle menstruel dure en moyenne 28 jours contenant la phase folliculaire suivie de la phase lutéale. Aux prémices de la phase folliculaire, les taux d'œstrogènes et de progestérones sont faibles et il y a une libération de l'hormone folliculo-stimulante (FSH), stimulant la croissance du follicule, ainsi que de l'hormone lutéinisante

(LH), stimulant la production d'œstrogènes. Dans la phase folliculaire tardive, le niveau d'œstrogènes est donc élevé tandis que le niveau de progestérone est faible. Ce pic d'œstrogènes va entraîner une augmentation de la LH et donc une ovulation. A la suite de l'ovulation, commence la phase lutéale où l'œstrogène et la progestérone vont être sécrétés (21).

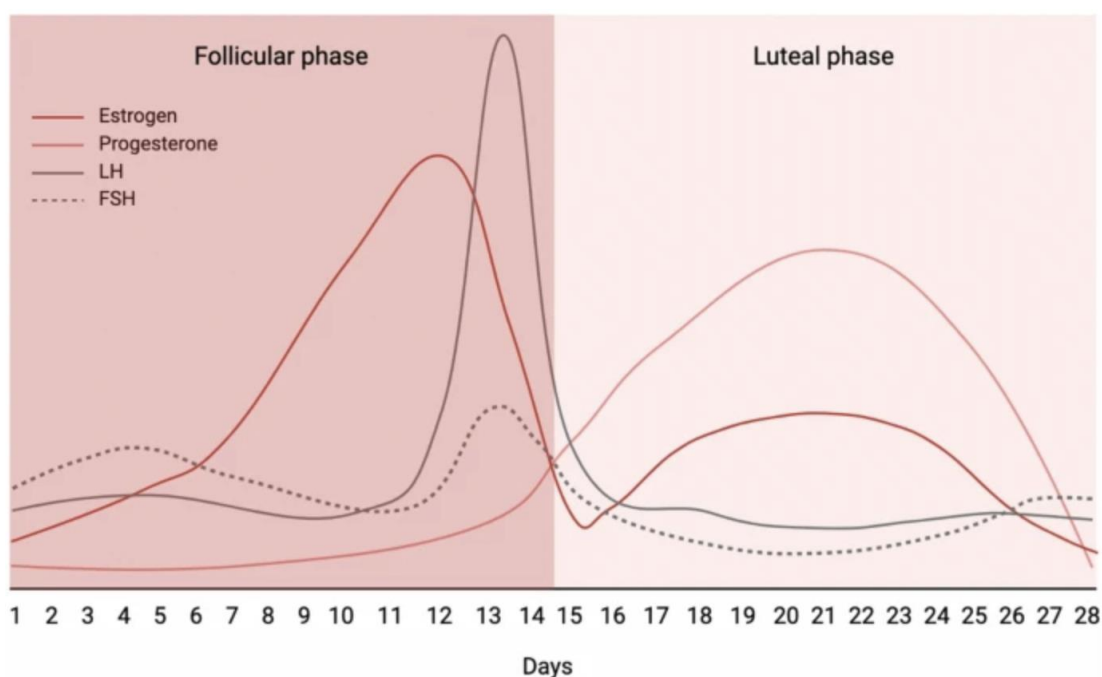


Fig. 2. Fluctuations des hormones sexuelles féminines pendant le cycle menstruel par Kissow et al. (2022)

Ces complexités ont contribué aux défis liés à l'étude des femmes et à l'examen des différences entre les sexes. Les réponses biphasiques de l'œstrogène et de la progestérone durant le cycle menstruel influencent les réponses physiologiques, impactant ainsi la capacité d'exercice et l'adaptation chez les femmes. Bien que les effets varient d'un individu à l'autre, ces changements hormonaux cycliques peuvent affecter les potentiels psychologiques et physiques et ainsi influencer les performances sportives. De plus, les contraceptifs oraux complexifient davantage le sujet via l'apport de concentrations variables d'œstrogènes et de progestérone exogènes circulants (22). En effet, dans l'étude de Rickenlund et al. (2004) basée sur les effets de l'utilisation de la contraception orale, des variabilités dans la composition corporelle chez les athlètes ont été observées, notamment la densité minérale osseuse. Il a été démontré que la contraception orale aurait principalement des effets positifs sur la composition

corporelle sans impacter négativement les performances. De plus, elle pourrait jouer un rôle préventif pour l'ostéoporose aménorrhée des athlètes (23).

Il n'y a plus de doute quant à l'influence des œstrogènes et des progestérone dans la physiologie de la femme. Les œstrogènes favorisent l'absorption du glucose par les fibres musculaires de type I, améliorant ainsi les performances lors d'exercices courts. Cependant, cette action peut être entravée par la progestérone (24). En effet, outre ses effets physiologiques, il est important de comprendre que la progestérone a un rôle antagoniste sur les effets œstrogéniques. Par exemple, l'amélioration du métabolisme des glucides promue par l'œstradiol peut être inhibée par des taux élevés de progestérone. De plus, la progestérone a pour effet d'augmenter la fréquence cardiaque de repos, la température corporelle de base ainsi que la ventilation. Par conséquent, il est probable que les changements dans la thermorégulation pendant la phase lutéale soient principalement causés par l'effet de la progestérone. Cette augmentation de la température corporelle basale est signalée pour augmenter le sentiment subjectif d'effort, induisant une diminution des performances sportives. De plus, la progestérone favorise le catabolisme des protéines, ce qui engendre une diminution du stimulus de la synthèse des protéines musculaires (22). Pendant la phase lutéale, les niveaux élevés d'œstrogènes favorisent le stockage du glycogène musculaire, mais un régime alimentaire riche en glucides peut compenser ce stockage dès le début de la phase folliculaire. De plus, il a été suggéré que l'œstrogène augmente la disponibilité des acides gras et la capacité oxydative durant l'exercice, améliorant ainsi les performances (24). L'étude de Sims et Heather (2018) ajoute que les œstrogènes permettent également d'augmenter la disponibilité des acides gras libres ainsi que l'utilisation des voies oxydatives dans le but d'utiliser les acides gras comme source de carburant. Cela provoque une diminution de la consommation de glucides et permet d'épargner le glycogène. Par conséquent, un niveau élevé en œstrogènes est associé à une baisse des niveaux de lactate sanguin et du temps d'épuisement (22).

1.4. Entraînement de sprints répétés (RST)

L'entraînement de sprints répétés (RST) est un entraînement impliquant des efforts maximaux, des sprints de courtes durées (≤ 10 secondes), suivis de courts moments de récupération (≤ 60 secondes) (25). L'entraînement de sprints répétés est différent de l'entraînement de sprints intermittents étant donné ses courtes durées de récupération (26). La répétition d'efforts maximaux conduit à la fatigue des muscles pendant l'exercice, entraînant une baisse des performances physiques et de l'efficacité mécanique (27). L'entraînement aux sprints répétés permet d'améliorer la capacité de l'athlète à effectuer une meilleure performance moyenne de sprints sur une série de sprints entrecoupés par des courts moments de récupération. Cette capacité s'appelle RSA (repeated sprint ability), et c'est une aptitude à répéter des sprints sans perte de performance. Pour qu'une capacité de sprints répétés (RSA) atteigne un niveau avancé, il est nécessaire que des vitesses maximales élevées (une importante puissance de sortie) soient atteintes lors des premiers sprints, mais également que la diminution des performances lors des sprints suivants soit minimisée (28).

Dans la plupart des disciplines sportives en équipes ainsi que des sports de raquettes et de combat, le RSA est un facteur clé. Harper et al. (2019) ont étudié les impacts concrets des actions lors d'un match dans un sport collectif. Ils ont constaté que la quantité et la fréquence des courses à grande vitesse effectuées par un joueur pendant le jeu peuvent diminuer sa capacité à générer des forces horizontales lorsqu'il accélère au maximum. Cette diminution peut avoir un impact sur les performances en sprint, qui sont cruciales lors de moments décisifs du match (29). Le RST peut donc être intéressant dans un programme d'entraînements pour des sports collectifs, de raquettes et de combat (30).

1.4.1. Effet RST

Dans une revue récente portant sur 40 publications, Thurlow et al. (2023) ont démontré que l'entraînement basé sur la course de sprints répétés améliore significativement plusieurs aspects des performances athlétiques chez les sportifs entraînés (résultats d'étude menée sur 10% de sujets féminins). En réalisant trois séries de sprints de 6 répétitions sur 30 mètres, deux fois par semaine pendant une

période de 6 semaines, les chercheurs ont constaté des améliorations notables dans la vitesse, les performances lors de courses intermittentes, la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}), l'habileté de répéter des sprints courts (RSA), la capacité à changer de direction (COD) ainsi que la hauteur du saut en contre-mouvement (CMJ). Cet entraînement se révèle efficace pour augmenter la condition physique générale et favoriser l'adaptation physiologique des athlètes (31).

La cinétique de la consommation d'oxygène (VO_2) est accélérée et la tolérance à l'exercice est améliorée grâce à l'entraînement de sprints répétés. Des adaptations rapides de l'estimation de l'extraction d'oxygène musculaire sont provoquées par le RST, facilitant ainsi une accélération de la cinétique de la VO_2 et une amélioration des performances. Le RST permet donc d'avoir une meilleure extraction de l'oxygène musculaire, point important pour une optimisation des performances (32). Gharbi et al. (2015) se sont rendu compte que l'amélioration de la VO_{2max} semble liée à la capacité d'améliorer la récupération entre les sprints répétés, notamment en favorisant la tolérance, l'élimination et le tamponnage des ions hydrogènes dans les muscles actifs, tout en restaurant efficacement les réserves de PCr et d'ATP après l'exercice (33). Cela pourrait expliquer pourquoi les participants avec une VO_{2max} plus élevée affichent de meilleures performances RSA. Cependant, d'autres études n'ont pas trouvé de corrélation significative entre la VO_{2max} et les indices de performance RSA, suggérant que la puissance aérobie maximale et les performances RSA peuvent être influencées par différents types de facteurs.

Le RST peut aussi impacter les événements moléculaires associés à la biogenèse mitochondriale. Les séances de sprints répétés peuvent altérer les signaux moléculaires liés aux adaptations mitochondriales et à l'expression de l'ARNm de la PGC-1 α dans les muscles (34). Ce mode d'entraînement est intéressant car il permet d'entraîner à la fois la force, la puissance et l'endurance dans les sports d'équipe (35). Au niveau des fibres musculaires, Dawson et al. (1998) ont constaté que les fibres musculaires de types II sont plus adaptées aux efforts de sprints courts via l'activité en ATPase de myosine plus élevée comparé aux fibres de type I. Un entraînement de sprints répétés permettrait des adaptations physiologiques telles

que l'augmentation des fibres musculaires de type II ce qui contribue à la performance de sprints courts (36).

1.5. Entraînement en condition hypoxique

Lorsque l'hypoxie est combinée à l'exercice, plus spécifiquement dans notre cas avec le RST, il en résulte d'autres adaptations intéressantes pour la performance physique. C'est pourquoi de nombreux athlètes et entraîneurs ont commencé à utiliser une nouvelle stratégie d'entraînement, appelée RSH. L'hypoxie est un état se caractérisant par un apport insuffisant en oxygène dans l'organisme. Cette hypoxie peut se présenter à deux niveaux : au niveau global du corps (hypoxie généralisée) ou au niveau des tissus (hypoxie tissulaire). Cela cause un stress pour l'organisme, résultant des changements physiologiques à l'intérieur de celui-ci (37).

1.5.1. Types d'hypoxie

L'hypoxie peut se présenter naturellement via l'augmentation de l'altitude. Dans ce cas, la pression barométrique diminue de façon exponentielle, entraînant ainsi une réduction progressive de la pression partielle ambiante d'oxygène (PO_2). Il est donc appelé hypoxie hypobarique. La pression inspirée en O_2 (PiO_2) au niveau de la mer est de l'ordre de 160mmHg, alors que en haut de l'Everest, il ne restera qu'environ 60 mmHg de PiO_2 (38).

Cependant, tous les athlètes n'ont pas la possibilité de s'entraîner en haute altitude. De nombreuses autres méthodes ont dès lors vu le jour afin « d'amener la montagne à l'athlète » : tente d'azote, réserves hypoxiques et différents dispositifs spéciaux comme les masques fasciaux. Ce sont des méthodes utilisées afin de simuler les conditions de haute altitude, d'hypoxie. Cet état, appelé hypoxie normobarique, se caractérise par une réduction de la proportion d'oxygène dans l'air sans que la pression atmosphérique soit modifiée, contrairement à l'hypoxie hypobarique (39). En raison de considérations pratiques et logistiques, l'hypoxie normobarique est souvent adoptée en laboratoire comme une alternative à l'hypoxie hypobarique (38).

Aujourd'hui, dans le monde sportif, il existe plusieurs méthodes visant à stimuler l'adaptation du corps à des environnements où l'oxygène est limité, ce qui peut améliorer les performances des athlètes lorsqu'ils reviennent au niveau de la mer (40) :

- LHTH (Live High Train High) : les athlètes vivent et s'entraînent à des altitudes élevées. Il reste des semaines (généralement entre 2 et 4 semaines) à une altitude modérée.
- LHTL (Live High Train Low) : les athlètes vivent à des altitudes élevées (1800 – 2500m) mais s'entraînent à des altitudes plus basses (<1300m).
- IHE (Intermittent Hypoxic Exposure) : il s'agit de plusieurs répétitions d'exposition (allant de plusieurs minutes à plusieurs heures) à l'hypoxie séparées par un retour en normoxie ou à des niveaux inférieurs. Ce procédé est répété sur plusieurs jours à semaines. Il s'agit, ici, d'exposition et pas d'entraînement.
- IHT (Intermittent Hypoxic Training) : l'athlète s'entraîne dans des conditions hypoxiques et reste au niveau de la mer le reste du temps.
- RSH (Repeated Sprint Training in Hypoxia) : Entraînement hypoxique consistant en des séries de sprints suivies de courtes périodes de récupération (≤ 60 secondes) en conditions d'hypoxie (33).

IHE, IHT et RSH font partie du type d'exposition LLTH (Live Low Train High).

À noter que chaque méthode possède ses propres avantages et inconvénients. Une exposition prolongée à l'hypoxie (LHTH et LHTL) entraîne davantage d'adaptations hématologiques, tandis qu'une exposition plus courte (LLTH : IHE, IHT et RSH), favorise davantage les adaptations musculaires.

1.5.2. RSH vs RSN

L'une des premières études portant sur les effets du RSH a été menée par Faiss et al. (2013). L'objectif de cette étude était de comparer les effets entre un entraînement de sprints répétés en normoxie (RST- désormais appelé RSN) et en hypoxie (RSH). Ils ont remarqué une nette amélioration des performances plus importante après un entraînement de sprints répétés en hypoxie qu'en normoxie. En effet, celui-ci conduit à des variations accrues de la perfusion sanguine ce qui retarde la fatigue lors d'un test RSA ainsi que des adaptations moléculaires

spécifiques. Ces dernières favorisent une amélioration des performances en retardant la fatigue par une moindre dépendance énergétique anaérobie. De plus, des modifications au niveau moléculaire soutiennent une évolution vers une activité glycolytique anaérobie améliorée à la suite de l'entraînement en hypoxie (41). Après Faiss et al., d'autres chercheurs ont continué à étudier les différences entre RSN et RSH. Galvin et al. (2013) ont remarqué également d'autres effets bénéfiques du RSH chez des joueurs de rugby. Ceux-ci ont pu constater une amélioration deux fois plus importante de leur capacité à effectuer un travail aérobique répété de haute intensité (42). La revue systématique de Zelenovic et al. (2021) confirme l'effet du RSH en ajoutant que les mécanismes physiologiques tels qu'une meilleure resynthèse de la phosphocréatine et une activité mitochondriale accrue peuvent être responsables des meilleurs résultats du groupe RSH comparé au RSN. Ils en concluent que le RSH s'est avéré être une méthode d'entraînement efficace pour améliorer les performances physiques, en particulier la RSA, parmi les athlètes individuels et d'équipe. Il est important de noter que ces études se sont déroulées uniquement sur des participants masculins (43).

1.5.3. RSH chez les femmes

L'étude de Kong et al. (2022) quant à elle s'est concentrée sur les effets de l'entraînement en hypoxie sur les fonctions cardiorespiratoires chez les jeunes femmes sédentaires. Il en est ressorti que par rapport au groupe témoin, des augmentations significatives du VO_{2peak} ont été constatées dans les deux groupes hypoxiques mais pas dans le groupe en normoxie. La présente étude indique donc que la combinaison de l'hypoxie avec un entraînement de sprints répétés permet une meilleure amélioration de la fonction cardiorespiratoire par rapport à l'entraînement de sprints répétés réalisé en normoxie chez des sujets féminins (44).

Cette seconde étude de Kasai et al. (2015) a comparé les effets de 4 semaines d'entraînement de sprints répétés entre un groupe d'entraînement en hypoxie (RSH) et un groupe d'entraînement en normoxie (RSN). Les résultats ont indiqué que le groupe RSH a montré une amélioration significativement plus importante de la capacité de sprints répétés que le groupe RSN. Une autre conclusion de cette étude a été une augmentation, environ trois fois plus importante, de la puissance de pointe

observée lors des tests de sprints répétés dans le groupe RSH par rapport au groupe RSN (45).

Braham et al. (2024) ont, eux, étudié les effets de la RSH chez des jeunes joueuses de football via 12 séances d'entraînement en sprints répétés (46). Brocherie et al. (2024) ont analysé l'effet de quatre séances d'entraînement répété de sprints en cyclisme en hypoxie ou en normoxie chez des joueuses de rugby à sept de classe mondiale (47).

Il est important de noter que dans aucune des études précédemment mentionnées, le RSH n'a été comparé entre les hommes et les femmes. Cette lacune dans la recherche souligne l'importance de notre étude, qui vise à examiner spécifiquement les effets de l'entraînement en hypoxie avec des sprints répétés sur les performances physiques chez les deux sexes. En comprenant comment les hommes et les femmes réagissent différemment à ce type d'entraînement, nous pourrions mieux adapter les programmes d'entraînement pour répondre aux besoins des femmes, optimisant ainsi leurs performances physiques.

2. Méthode

2.1. Sujets

Un total de 41 sportifs récréatifs masculins et féminins ont été recrutés. Le recrutement s'est fait sur base volontaire via les réseaux sociaux, les places publiques (université), ainsi que par l'intermédiaire de collègues (échantillon « boule de neige »). Un document de consentement pour leur participation à l'étude a été signé par chaque participant. Les sujets ont ensuite été divisés en deux groupes, le premier s'entraînera en normoxie (RSN) et le second en hypoxie (RSH). Cette étude a été menée en tant que recherche expérimentale quantitative dans le but de comparer les effets d'un entraînement de sprints répétés en hypoxie sur les performances en normoxie entre les hommes et les femmes. Cette étude a obtenu l'approbation du « Comité d'Ethique Hospitalo-Facultaire des Cliniques Universitaires Saint-Luc - UCLouvain ». L'ensemble de l'étude s'est déroulé dans le laboratoire dédié aux tests à l'effort à Louvain-la-Neuve (UCLouvain).

Table 1

Caractéristiques et mesures de base des performances des sujets dans les 2 groupes d'hommes et de femmes entraînés à la normoxie et à l'hypoxie.

	RSN		RSH	
	H (n=11)	F (n=8)	H (n=12)	F (n=10)
Age (année)	26,1 ± 5	23,4 ± 2,1	24,4 ± 4,3	24,4 ± 2,8
Poids (kg)	76,9 ± 13,4	62 ± 9,2	73 ± 5,7	67 ± 5,2
Taille (cm)	181,1 ± 6,2	167,9 ± 11	179,3 ± 6,6	167,3 ± 5,9
Masse maigre (kg)	65,3 ± 8,2	45,1 ± 5,9	62,2 ± 4,4	48,6 ± 3,4
Masse grasse (%)	12,7 ± 4,5	25,1 ± 5,1	12,5 ± 4,1	25,8 ± 4,3
VO ₂ max (ml/min/kg)	49,5 ± 6,2	38,3 ± 5,5	50,8 ± 6,3	39,2 ± 6
VO ₂ max (ml/min/kg masse maigre)	58 ± 6,3	52 ± 6,4	59,3 ± 6,5	54 ± 7,1
Pmax sprint 10sec (W)	868,7 ± 115,7	613,3 ± 85,8	874,1 ± 123,7	676,2 ± 102,5
Pmax sprint 10sec /kg masse maigre	13,3 ± 0,9	13,6 ± 0,9	14,1 ± 1,6	13,9 ± 1,9

RSN, Sprints répétés en normoxie ;

RSH, Sprints répétés en hypoxie ;

H, Hommes ;

F, Femmes ;

Pmax, Puissance maximale

Concernant les critères d'inclusion, hommes et femmes âgés de 18 à 40 ans ont été inclus dans cette étude. Les sujets devaient pratiquer une activité physique à raison de minimum 3h/semaine pendant au moins six mois précédant l'expérience.

Concernant les critères d'exclusion, il était demandé aux sujets d'être non-fumeurs, de ne pas être exposés à une altitude $\geq 1500\text{m}$ durant le mois précédent l'étude, de ne pas avoir de maladies ou de blessures pouvant compromettre la sécurité du sujet durant les entraînements/tests, de ne pas être sous médication et de ne pas pratiquer des activités de sprints répétés plus d'une fois par semaine.

2.2. Design

L'étude a été menée en utilisant une procédure « simple aveugle », randomisée contrôlée, afin de comparer un groupe d'hommes à un groupe de femmes. Le protocole de l'expérience comprenait deux séries de tests, chacune s'étalant sur trois jours, réalisées avant (pré) et après (post) une période d'entraînement spécifique supervisée de sept semaines, comportant au total 14 séances d'entraînement. Avant de commencer les procédures expérimentales, l'éligibilité des participants a été évaluée au moyen d'un examen médical et de questionnaires (questionnaires d'activité physique/mode de vie, (*Annexe 1*) ; et de dépistage médical, (*Annexe 2*), après avoir fourni leur consentement écrit (*Annexe 3*). S'ils étaient éligibles, les participants étaient assignés de manière aléatoire à l'un des deux groupes de traitement, soit le groupe d'entraînement de sprints en normoxie (RSN, H, N=11 ; F, N=8), soit le groupe d'entraînement de sprints en hypoxie (RSH, H, N=12 ; F, N=10). Le groupe (RSN ou RSH) dans lequel les individus ont été répartis n'était communiqué qu'à la fin de l'expérience, contrairement aux expérimentateurs. Les trois jours de tests comprenaient les étapes suivantes : une évaluation de la masse corporelle maigre et grasse, un test VO_2max , l'analyse des taux d'hémoglobine et d'hématocrite ainsi que la quantification de la masse d'hémoglobine, un test RSA (au cours duquel l'oxygénation musculaire a été également mesurée) et un test anaérobie de Wingate.

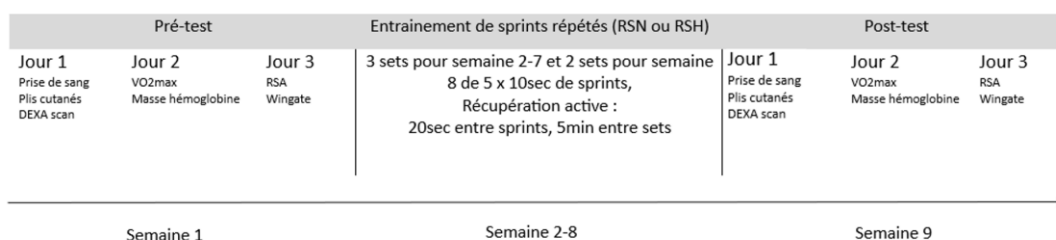


Fig. 3. Évolution temporelle de l'étude.

2.3. Description de l'entraînement

Durant une période de 7 semaines, 14 sessions d'entraînement de sprints répétés sur cycloergomètre ont été suivies par les participants de cette étude, à raison de deux entraînements chaque semaine. La première semaine d'entraînement avait lieu la semaine après les pré-tests et la dernière semaine d'entraînement était la semaine précédant les post-tests. Une période de 3 à 4 jours était prévue entre les séances de tests et les séances d'entraînement. Les entraînements ont été menés dans une chambre hypoxique au sein du laboratoire dédié aux tests à l'effort à Louvain-la-Neuve (UCLouvain). Dans ce laboratoire, deux chambres hypoxiques (*High altitude system B-Cat, Tiel, Pays-Bas*) sont disponibles. La simulation d'altitude dans la chambre hypoxique est réalisée par injection d'azote, réduisant ainsi la concentration d'oxygène dans l'air et la pression partielle en oxygène. Lors des entraînements en hypoxie, une fraction inspirée d'oxygène (FiO_2) de 14,6% était utilisée pour simuler une altitude de 3000m. Par contre, pour les entraînements en normoxie, cette FiO_2 était de 20,9%, ce qui correspond au niveau de la mer. La température moyenne à l'intérieur de la chambre était de 18°C pour toutes les séances d'entraînement. Lors des entraînements, il était possible d'accueillir jusqu'à 4 participants simultanément, à condition d'être au sein du même groupe (RSH ou RSN).

La planification des entraînements était établie de manière spécifique afin d'assurer un jour de repos entre les deux séances d'entraînement hebdomadaires. Pendant la durée de l'étude, il a été demandé aux participants de maintenir leur volume d'entraînement constant. Un carnet d'activités physiques était mis à la disposition des participants pour noter toutes les activités physiques réalisées pendant la période des entraînements (*Annexe 4*).

Les entraînements étaient réalisés sur un vélo équipé d'un Cyclus (*Ergomètre Cyclus 2, RBM Electronics, Leipzig, Allemagne*), dont le cadre était adapté à la taille du participant (50, 52, 54 ou 56). Chaque séance d'entraînement débutait par un échauffement de 10 minutes à une intensité équivalente à 50% du VO_2max , composé de deux sprints de 5 secondes avec une résistance de 4,3 N/kg. Ensuite, la séance se poursuivait avec 3 séries de 5 sprints de 10 secondes, avec une même résistance de 4,3 N/kg, chacun suivi de 20 secondes de récupération à 30% du VO_2max . Entre chaque série de sprints, une période de récupération de 5 minutes à 30% du VO_2max était réalisée. La fin de la séance d'entraînement comprenait un retour au calme de 10 minutes à 30% du VO_2max . La dernière semaine d'entraînement présentait une structure différente, avec 2 séries de sprints d'une résistance de 3,7 N/kg au lieu de 4,3 N/kg, afin de favoriser une récupération optimale avant la semaine de post-tests. Pendant chaque sprint, les participants étaient encouragés à atteindre et à maintenir une puissance maximale et il était demandé de rester assis sur la selle. Il était proposé aux participants d'effectuer les entraînements avec de la musique. À la suite de chaque séance, les participants devaient évaluer leur perception de l'intensité de l'effort (*RPE, échelle de Borg, 6-20*) et leur niveau de douleur au niveau des jambes (*VAS, échelle de 0 à 10*). La puissance produite était enregistrée à chaque séance d'entraînement.

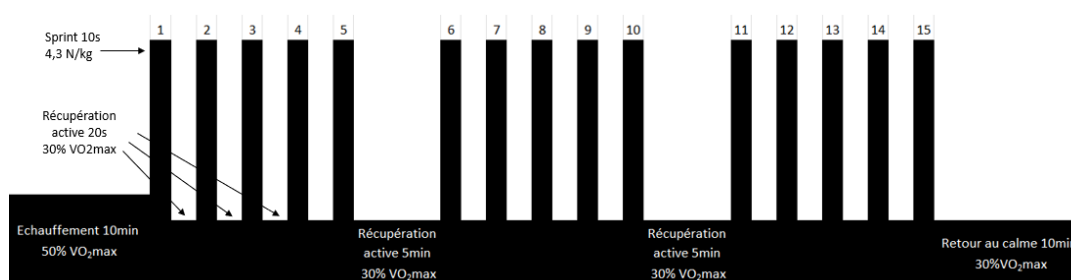


Fig. 4. Description d'une session d'entraînement type

2.4. Description des tests

2.4.1. Pré-test et post-test

Concernant les tests, il était demandé aux sujets de ne pas consommer d'alcool ni de caféine 24h avant les tests, de compléter un carnet alimentaire (*Annexe 5*), ainsi que de ne pas pratiquer d'activité physique intense 48h avant.

De plus, les sujets féminins ont effectué un test d'ovulation (*Sensitest Ovulation Test dipstick, Sensitest, EJ Delfgauw, Pays-Bas*) lors de chaque jour de test, afin de vérifier qu'elles n'étaient pas en phase pré-ovulatoire. Cela a été également vérifié en remplissant un carnet de leur cycle menstruel au cours de l'étude (*Annexe 6*). En effet, la performance peut être influencée par le cycle menstruel bien que les études à ce sujet n'ont pas encore pu établir des conclusions fermes (48).

Lors du J1, les mesures suivantes étaient prises : le poids, la taille et la concentration en hémoglobine ainsi que le taux d'hématocrite via une prise de sang. Les sujets étaient ensuite soumis à un DEXA scan afin d'évaluer la masse maigre et la masse grasse. Ce dernier a également été mesuré par la méthode des plis cutanés.

Lors du J2, les sujets étaient amenés à réaliser un test de VO₂max sur cycloergomètre ainsi qu'un test de la masse de l'hémoglobine (HB mass), avec une heure de repos entre les deux tests.

Lors du J3, les sujets réalisaient un test RSA (Repeated Sprint Ability) où un capteur NIRS (Near InfraRed Spectroscopy) était placé sur leur jambe dans le but de mesurer l'oxygénation musculaire et un test de Wingate. Une heure de récupération passive était nécessaire entre ces deux tests.

2.4.2. Paramètres des tests

Les différents tests de performance (VO₂max, RSA et Wingate) ont été effectués sur cycloergomètre (*Ergomètre Cyclus 2, RBM Electronics, Leipzig, Allemagne*). La taille du cadre et la hauteur de la selle étaient ajustées en fonction de chaque sujet et notifiées pour les prochains tests. De plus, après chaque test de performance, une prise de la perception de l'effort (RPE) via l'échelle de Borg ainsi que la perception de la douleur musculaire via l'échelle visuelle analogique (VAS) étaient effectuées. L'ensemble des tests se déroulait en normoxie.

Prélèvement sanguin :

Un échantillon de sang a été prélevé provenant de la veine antécubitale de l'avant-bras dans des tubes contenant de l'EDTA. Immédiatement après, il y avait

une détermination du pourcentage d'hématocrite et du taux d'hémoglobine (g/ml) à l'aide d'un analyseur d'hématologie (*ABX Micros 60, Axonlab, Dattwil, Suisse*). Ensuite, ces tubes EDTA ont été centrifugés à 2000 x g pendant 15 minutes à une température de 4°C afin de séparer le plasma.

Poids et taille :

Les sujets étaient pesés via un pèse personne (*Seca Alpha, Modell 770, Seca Deutschland, Hamburg, Allemagne*) et mesurés via une toise (*seca 222, Seca Deutschland, Hamburg, Allemagne*).

Scan DEXA :

Il s'agit d'un test non-invasif qui évalue la composition corporelle, mesurant la densité minérale osseuse, la masse maigre et la masse grasse du corps. Pour ce test, il a été demandé aux sujets de porter un short de sport (et une brassière de sport pour les femmes), d'enlever tout ce qui comportait du métal. Après avoir invité les participants à aller aux toilettes si nécessaire, ils ont été installés sur la table DEXA (*Discovery QDR SERIES, Hologic, Marlborough, Massachusetts, Etats-Unis*). Une fois le sujet en position, le test pouvait commencer pour une durée totale de sept minutes durant laquelle l'immobilité était requise.

Plis cutanés :

Les plis cutanés ont été pris par un même expérimentateur sur quatre sites différents via une pince CESCORF (*Plicomètre scientifique traditionnel, CESCORF, Porto, Portugal*). Les différents sites étaient les suivants : abdomen, supra-iliaque, triceps et cuisse. La prise de mesure était réalisée à deux reprises et était validée uniquement si la différence entre ces deux mesures était $\leq$ à 0,3mm. Une formule pour les hommes et les femmes était utilisée afin de mesurer le pourcentage de graisse du participant :

Homme : % Body fat = $0.29288 \times \text{Somme} - 0.0005 \times \text{Somme}^2 + 0.15845 \times \text{âge} - 5.76377$

Femme : % Body fat = $0.29669 \times \text{Somme} - 0.00043 \times \text{Somme}^2 + 0.02963 \times \text{âge} + 1.4072$

VO₂max :

Le test VO₂max a été évalué via un Ergocard (*Ergocard, Medisoft, Sorinnes, Belgique*). Cet appareil était calibré à deux reprises avant le début du test (calibration des gaz et calibration du volume). Dès lors, le sujet pouvait régler et prendre place sur le cycloergomètre. Un tuyau était relié entre l'Ergocard et le masque qui englobait le nez et la bouche du sujet de sorte à récolter et analyser les échanges respiratoires, c'est-à-dire la consommation d'oxygène et la production de dioxyde de carbone (CO₂). Concernant la programmation du cycloergomètre, les sujets débutaient l'effort à 1,2 W/kg de masse maigre avec une incrémentation de 0,6 W/kg lors de chaque palier de deux minutes. Une fréquence de 75-85 tours/minute était recommandée durant la totalité du test. Il était demandé au sujet de rester assis sur la selle, de maintenir la tête droite et de continuer l'effort jusqu'à épuisement. Des encouragements étaient prodigués tout au long du test. Celui-ci se terminait lorsque le participant n'arrivait plus à maintenir cette fréquence. La VO₂max était calculée comme la valeur moyenne la plus élevée sur 30 secondes lors du test. La fréquence cardiaque maximale a été mesurée durant l'ensemble du test via une ceinture de fréquence cardiaque Polar (*Polar Team System 2, Polar Electro, Kempele, Finlande*).

Masse de l'hémoglobine :

La masse d'hémoglobine a été déterminée en utilisant la méthode « CO-rebreathing ». Cette méthode implique l'inhalation d'une petite quantité de CO (1 ml/kg) mélangé à l'oxygène, à l'aide d'un spiromètre connecté à un ballon. Le test débutait par la réalisation de 5 prélèvements sanguins au niveau de l'index. Ces échantillons étaient analysés à l'aide d'un radiomètre (*ABL90 FLEX, RADIOMETER, Bronshoj, Danemark*) pour enregistrer la fraction de CO liée à l'hémoglobine avant l'inhalation de CO. Ensuite, une longue et lente expiration était requise dans le dispositif Dräger (*Dräger Pac5500, Dräger Medical, Lubeck, Allemagne*) qui permet la mesure du taux de CO. Un processus comportant différentes étapes avec le spiromètre était ensuite exécuté pour permettre au participant d'inhaler le CO, puis expirer le contenu de ses poumons dans le ballon. Quatre minutes après le début de ce processus, le participant devait effectuer une deuxième longue et lente expiration dans le système Dräger. Enfin, 2 nouveaux prélèvements sanguins étaient analysés par le radiomètre, 6 et 8 minutes après

l'inhalation du CO. La masse de l'hémoglobine a été estimée à l'aide des données des mesures susmentionnées.

Test RSA :

Un échauffement a été effectué d'une durée de 10 minutes à une intensité de 30% de la VO_{2max} et incluait deux sprints de 5 secondes avec une résistance de 0.8 Nm/kg . L'objectif pour le participant était d'exécuter un maximum de sprints (en développant pour chacun le maximum de ses capacités), ces derniers étant réalisés contre une résistance de 0.8Nm/kg et d'une durée de 10 secondes chacun. Entre chaque sprint, une récupération active de 20 secondes à 30% de la VO_{2max} était prévue. Les participants étaient contraints de rester assis sur la selle pendant les sprints. Le test était considéré comme terminé lorsque le participant ne pouvait pas continuer pour un prochain sprint ou lorsqu'il ne parvenait plus à maintenir une fréquence de 70 tours par minute pendant 5 secondes ou plus. Le sujet bénéficiait d'une récupération active de 10 minutes directement après l'arrêt du test. La puissance était enregistrée pour chaque sprint effectué et la fréquence cardiaque maximale a été mesurée durant l'ensemble du test via une ceinture de fréquence cardiaque Polar. Le nombre de sprints réalisés étaient également notifiés.

NIRS - Near InfraRed Spectroscopy :

L'oxygénation musculaire a été évaluée lors du test RSA à l'aide du dispositif NIRS (*Portamon, Artinis Medical System, Elst, Pays-Bas*). Pour ce faire, le capteur a été placé sur le muscle vaste latéral de la jambe droite à hauteur mi-cuisse. Les mesures ont été conservées afin de le replacer au même endroit lors du post-test. Une fois positionné, le capteur était fixé à l'aide d'un pansement de fixation « Méfix », recouvert par un short noir compressif. Tous les signaux ont été enregistrés avec une fréquence d'échantillonnage de 1Hz. Deux mesures au repos étaient enregistrées avant et après l'échauffement du test RSA. Ces mesures ont duré trois minutes durant laquelle le sujet était assis avec la jambe pliée à 90 degrés, et devait rester immobile. La seconde mesure enregistrée correspondait à la période du test RSA.

Test Wingate :

Un échauffement identique à celui du RSA précédait le test Wingate. Le test lui-même se compose d'un unique sprint d'une durée totale de 30 secondes, réalisé contre une résistance de 7,5kg/kg de masse totale. Il était attendu des participants qu'ils fournissent une puissance maximale pendant ces 30 secondes et qu'ils restent assis sur la selle. La fréquence cardiaque maximale ainsi que la puissance générée sur le vélo étaient enregistrées.

Lactate :

La prise de lactate était réalisée lors du test RSA et Wingate via l'appareil Lactate pro 2 (*Lactate Pro 2, Arkray, Kyoto, Japon*), au lobe de l'oreille. Pour ces deux tests, le lactate était prélevé à plusieurs reprises : au repos avant le test, directement après le test (post-effort) ainsi que 2 minutes, 4 minutes et 6 minutes après. L'objectif était d'enregistrer le pic de lactate après ces deux tests.

3. Résultats

	Homme Normoxie		Femme Normoxie		Homme Hypoxie		Femme Hypoxie	
	Pré	Post	Pré	Post	Pré	Post	Pré	Post
Nombre de sprints	11 ± 5	14 ± 7	7 ± 3	10 ± 2	11 ± 5	21 ± 9	10 ± 5	16 ± 5
Puissance moyenne (W)	632 ± 76	660 ± 78	420 ± 72	441 ± 62	639 ± 70	669 ± 65	517 ± 59	531 ± 51
Puissance maximale (W)	864 ± 120	871 ± 147	606 ± 90	601 ± 88	898 ± 124	914 ± 151	721 ± 106	720 ± 86
Diminution de la puissance moy (W)	20,3 ± 6,3	19,2 ± 6,2	18,6 ± 3,1	17,6 ± 2,1	22 ± 5,8	21,3 ± 6,6	19,2 ± 5,3	19,2 ± 6
Diminution de la puissance max (W)	15,4 ± 6,1	13,8 ± 7,3	14,7 ± 9,8	11,8 ± 3,7	14,5 ± 4,2	16,9 ± 5,8	13,6 ± 3,9	14,3 ± 5,5
FC max (bpm)	176 ± 7	174 ± 6	187 ± 9	182 ± 8	182 ± 6	179 ± 8	182 ± 7	184 ± 10
Lactate max (mmol/l)	13,7 ± 3,6	13,2 ± 4	12,3 ± 2,1	12,6 ± 2,7	16,5 ± 3,4	15,4 ± 4	12,5 ± 2,8	11,8 ± 3,1
Temps d'apparition du lactate max (sec)	132 ± 108	180 ± 126	240 ± 72	120 ± 96	162 ± 150	108 ± 138	78 ± 162	42 ± 96
TSI durant les sprints (%)	49 ± 7	45 ± 6	53 ± 3	56 ± 6	46 ± 8	40 ± 11	55 ± 5	56 ± 6
TSI durant les récup (%)	54 ± 6	58 ± 4	56 ± 5	66 ± 3	52 ± 6	54 ± 7	58 ± 3	66 ± 6
Différence TSI récup-sprint (%)	-11,3 ± 3,5	-12,5 ± 3,9	-11,8 ± 1,2	-9,4 ± 3,7	-12,2 ± 3,1	-11,8 ± 2,6	-11,8 ± 4,9	-10,2 ± 5,5
RPE (/20)	16 ± 1	18 ± 2	16 ± 2	18 ± 1	17 ± 2	18 ± 1	17 ± 2	17 ± 2
VAS (/10)	7 ± 2	7 ± 2	6 ± 2	6 ± 2	7 ± 2	7 ± 2	6 ± 2	6 ± 2

Fig. 5. Résultats des performances avant (pré) et après (post) le protocole d'entraînements de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie. Présentation des données : moyennes ± SD.

3.1. Nombre de sprints

Une différence significative a été remarquée dans tous les groupes concernant le nombre de sprints entre le pré et post-test sauf pour le groupe d'hommes en normoxie (Fig. 6). Le nombre de sprints a donc augmenté considérablement chez les hommes en hypoxie (11 ± 5 vs 21 ± 9 ; p=0,002), chez les femmes en hypoxie (10 ± 5 vs 16 ± 5 ; p=0,005) et chez les femmes en normoxie (7 ± 3 vs 10 ± 2 ; p=0,040). Comparé aux hommes en normoxie (11 ± 5 vs 14 ± 7 ; p=0,073).

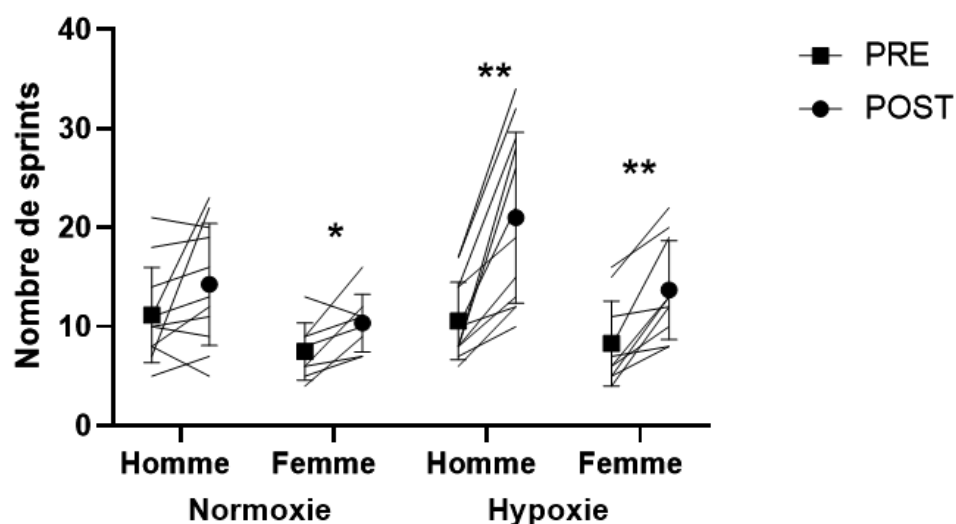


Fig.6. Résultats du nombre total de sprints avant (pré) et après (post) le protocole d'entraînement de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie. * $p < 0,05$ différence significative entre le pré et post-test dans le groupe femme-normoxie. ** $p < 0,01$ différence significative entre le pré et post-test dans le groupe homme-hypoxie et femme-hypoxie.

3.2. Puissance moyenne

En ce qui concerne l'amélioration de la puissance moyenne après les sessions d'entraînements, celle-ci a augmenté de manière significative dans tous les groupes ; chez les hommes en normoxie ($632 \pm 76,7$ W vs $660 \pm 78,4$ W ; $p=0,033$) et en hypoxie (639 ± 70 W vs 669 ± 65 W ; $p=0,041$) ainsi que chez les femmes en normoxie ($420 \pm 72,5$ W vs $441 \pm 62,7$ W ; $p=0,018$) et en hypoxie ($517 \pm 59,2$ W vs $531,5 \pm 51,2$ W ; $p=0,023$). Celle-ci a été comparée pour chaque groupe sur le nombre de sprints du pré-test effectués.

3.3. Puissance maximale

Aucune différence significative n'est observée entre les pré et post-tests concernant la puissance maximale atteinte dans les quatre groupes : hommes normoxie ($p=0,756$), hommes hypoxie ($p=0,814$), femmes normoxie ($p=0,779$) et femmes hypoxie ($p=0,646$). Celle-ci a été comparée pour chaque groupe sur le nombre moyen de sprints du pré-test effectué.

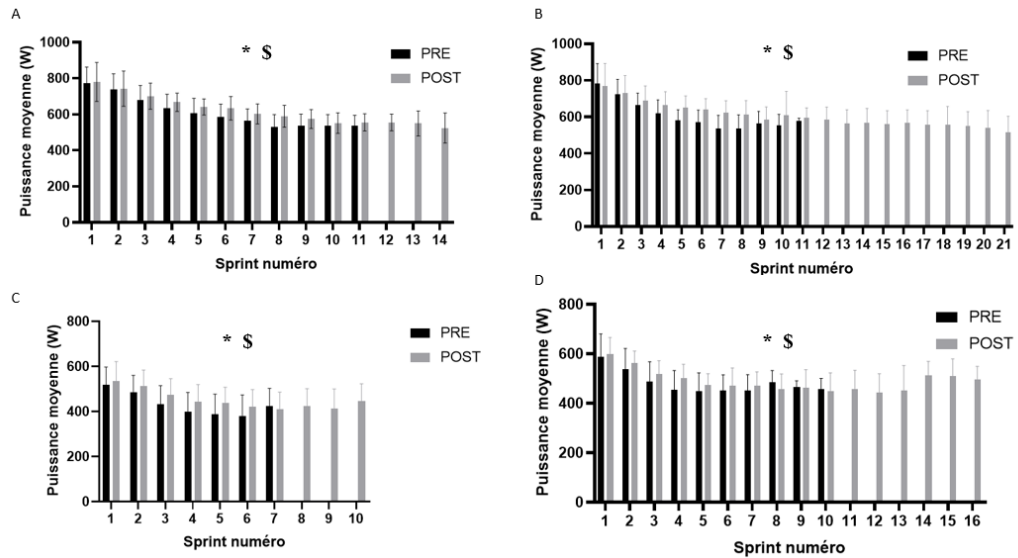


Fig. 7. Puissance moyenne sur le nombre moyen de sprints du pré-test effectués pour le groupe homme-normoxie (A), homme-hypoxie (B), femme-normoxie (C) et femme-hypoxie (D) avant (pré) et après (post) le protocole d'entraînements de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie. * $p < 0,05$ différence significative entre le pré et post-test. \$ $p < 0,05$ différence significative entre les sexes.

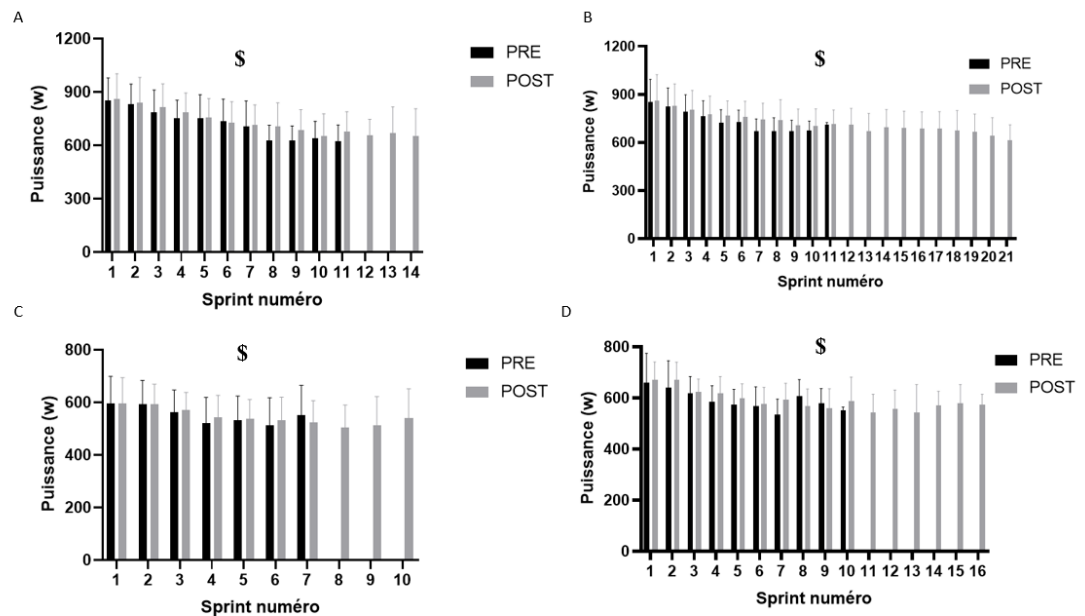


Fig. 8. Puissance maximale sur le nombre moyen de sprints du pré-test effectués pour le groupe homme-normoxie (A), homme-hypoxie (B), femme-normoxie (C) et femme-hypoxie (D) avant (pré) et après (post) le protocole d'entraînements de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie. \$ $p < 0,05$ différence significative entre les sexes.

Une différence significative a été remarquée concernant la puissance maximale des sprints en comparant les sexes des mêmes groupes : entre les hommes et les femmes en normoxie en pré ($864 \pm 120,9$ W vs 606 ± 90 W ; $p < 0,001$) et post-test ($871 \pm 147,8$ W vs $601 \pm 88,7$ W ; $p < 0,001$) et entre les hommes et les femmes en hypoxie au pré-test ($898 \pm 124,5$ W vs $721 \pm 106,2$ W ; $p = 0,002$) et au post-test ($914 \pm 151,7$ W vs 720 ± 86 W ; $p = 0,005$).

3.4. Lactate

Concernant la concentration maximale en lactate sanguin, aucune différence significative n'a été observée au sein des quatre groupes entre le pré et post-test : homme normoxie ($13,7 \pm 3,6$ mmol/l vs $13,2 \pm 4$ mmol/l ; $p = 0,446$), homme hypoxie ($16,5 \pm 3,4$ mmol/l vs $15,4 \pm 4$ mmol/l ; $p = 0,117$), femme normoxie ($12,3 \pm 2,1$ mmol/l vs $12,6 \pm 2,7$ mmol/l ; $p = 0,450$) et femme hypoxie ($12,5 \pm 2,8$ mmol/l vs $11,8 \pm 3,1$ mmol/l ; $p = 0,157$).

Aucune différence significative n'a été observée entre les sexes au niveau de la concentration en lactate maximale : entre les hommes et les femmes en normoxie en pré-test ($13,7 \pm 3,6$ mmol/l vs $12,3 \pm 2,1$ mmol/l ; $p = 1$) et en post-test ($13,2 \pm 4$ mmol/l vs $12,6 \pm 2,7$ mmol/l ; $p = 1$) et entre les hommes et les femmes en hypoxie en pré ($16,5 \pm 3,4$ mmol/l vs $12,5 \pm 2,8$ mmol/l ; $p = 0,064$) et en post-test ($15,4 \pm 4$ mmol/l vs $11,8 \pm 3,1$ mmol/l ; $p = 1$).

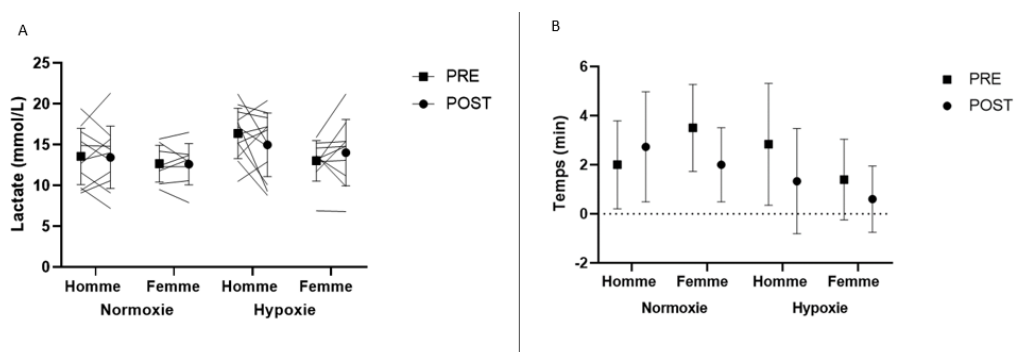


Fig. 9. Résultats du Peak du lactate atteint après les sprints répétés (A) et du temps d'apparition de la concentration maximale en lactate sanguin (B) avant (pré) et après (post) le protocole d'entraînement en normoxie ou en hypoxie.

La même constatation apparaît dans le temps d'apparition de la concentration maximale en lactate sanguin, il n'y a aucune différence significative entre les pré et post-tests : homme normoxie (132 ± 108 sec vs 180 ± 126 sec ; $p=0,206$), homme hypoxie (162 ± 150 sec vs 108 ± 138 sec ; $p=0,088$), femme normoxie (240 ± 72 sec vs 120 ± 96 sec ; $p=0,131$) et femme hypoxie (78 ± 162 sec vs 42 ± 96 sec ; $p=0,157$).

3.5. Index de saturation tissulaire (TSI)

Nous pouvons remarquer une différence significative entre les pré et post-tests à propos de l'index de saturation tissulaire lors des récupérations au sein des quatre groupes (fig. 6 A) : homme-normoxie ($p=0,046$), homme-hypoxie ($p=0,022$), femme-normoxie ($p=0,002$) et femme-hypoxie ($p=0,007$). De plus, nous pouvons également observer une différence significative entre les pré et post-tests pour l'index de saturation tissulaire lors des sprints (fig. 6 B) : homme-normoxie ($p=0,003$), homme-hypoxie ($p=0,005$), femme-normoxie ($p=0,018$) et femme-hypoxie ($p=0,018$). Cependant, aucune différence significative n'a été constatée à propos de la différence de l'index de saturation tissulaire entre sprints et récupérations lors de la comparaison des pré et post-tests (fig. 6 C).

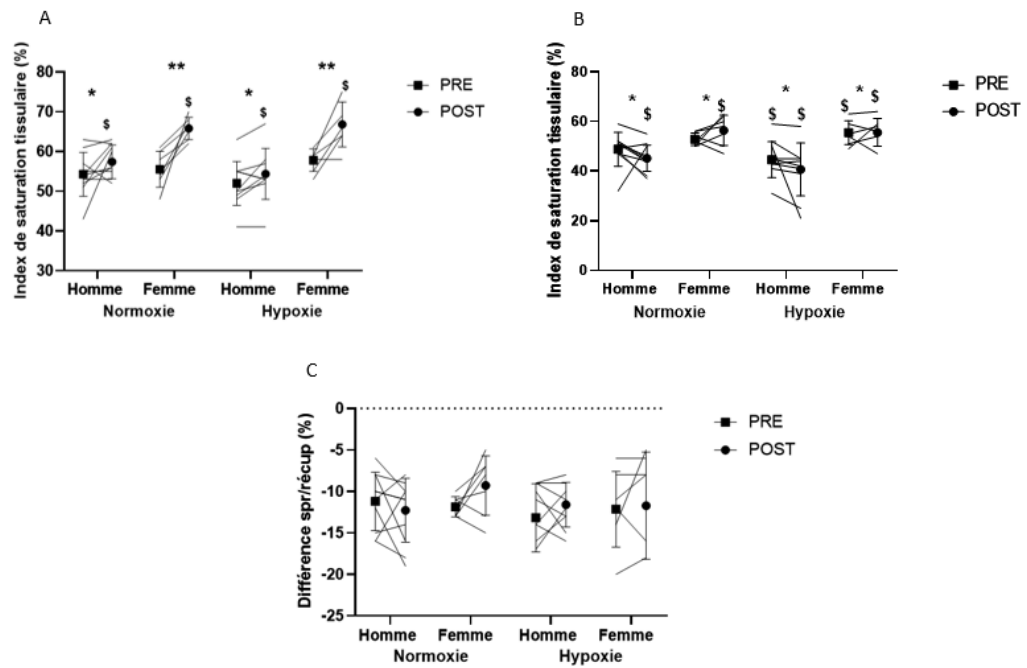


Fig. 10. Résultats de l'index de saturation tissulaire moyen sur les récupérations (A), sur les sprints (B) et la différence de l'index de saturation tissulaire entre les sprints et les récupérations avant (pré) et après (post) le protocole d'entraînement de sprints répétés. * $p < 0,05$ différence significative entre le pré et post-test. ** $p < 0,01$ différence significative entre le pré et post-test. \$ $p < 0,05$ différence significative entre les sexes.

Concernant l'index de saturation tissulaire lors des récupérations, une différence significative a été mesurée entre les hommes et les femmes en normoxie ($57,9 \pm 4$ % vs $65,8 \pm 2,5$ % ; $p = 0,009$) et en hypoxie ($54,2 \pm 6,7$ % vs $66,2 \pm 5,6$ % ; $p < 0,001$) lors du post-test, mais aucune différence significative lors du pré-test. Cette différence entre les sexes de même groupe apparaît aussi au niveau de l'index de saturation tissulaire lors des sprints en pré-test en hypoxie ($45,6 \pm 8$ % vs $55,2 \pm 5$ % ; $p = 0,001$) et en post-test en normoxie ($45,4 \pm 5,5$ % vs $56,3 \pm 5,9$ % ; $p = 0,004$) et en hypoxie ($40,1 \pm 10,9$ % vs $56,3 \pm 5,7$ % ; $p = 0,002$).

3.6. Perception de l'effort

Nous pouvons observer une différence significative concernant le RPE (échelle de perception de l'effort) entre les pré et post-tests pour les groupes en normoxie (fig. 11 A) : homme-normoxie ($p = 0,04$) et femme-normoxie ($p = 0,04$). Cependant, aucune différence significative n'est observée pour les groupes en hypoxie. Au sujet

du VAS (échelle de perception de la douleur), aucune différence significative n'est observée entre les pré et post-tests au sein des quatre groupes (fig. 11 B).

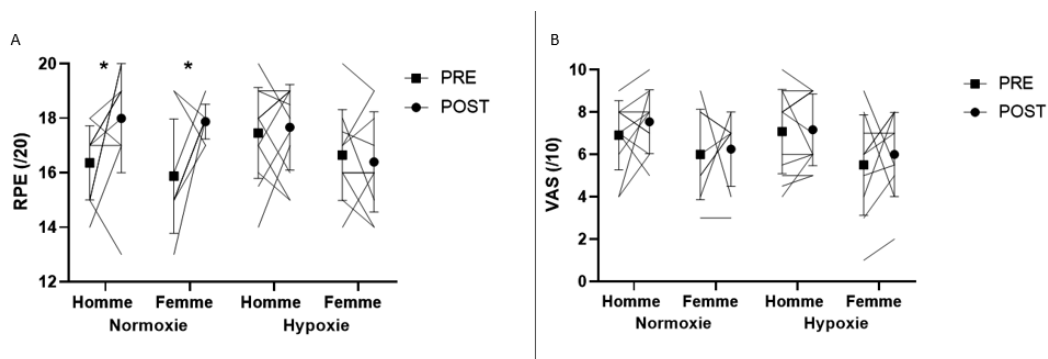


Fig. 11. Résultats du score de RPE (A) et VAS (B) avant (pré) et après (post) le protocole d'entraînement de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie. * $p < 0,05$ différence significative entre le pré et post-test dans le groupe homme-normoxie et femme-normoxie.

4. Discussion

L'objectif de notre étude vise à examiner de manière spécifique les effets de l'entraînement en hypoxie avec des sprints répétés sur les performances en normoxie, chez les hommes et les femmes. En comprenant comment les hommes et les femmes réagissent différemment à ce type d'entraînement, nous pourrions mieux adapter les programmes d'entraînement pour répondre aux besoins spécifiques de chaque sexe. Notre hypothèse suggère que les performances au test RSA seraient nettement améliorées par un protocole d'entraînement en hypoxie comparé à ce même protocole en normoxie chez les hommes et les femmes. Nous pensons également que les hommes présenteront une marge de progression supérieure face à ce protocole réalisé en hypoxie en raison de leurs différences physiologiques et anthropométriques. De plus, nous pensons que les femmes seront moins sensibles à l'hypoxie que les hommes. Cette différence de réceptivité pourrait influencer les adaptations attendues par cet entraînement en hypoxie (45).

4.1. Nombre de sprints

Nous pouvons constater une nette augmentation du nombre de sprints lors des post-tests pour les groupes ayant réalisé les entraînements en hypoxie. En revanche, le groupe d'hommes en normoxie n'a pas obtenu de différence significative entre le pré et post-test, bien que le groupe de femmes en normoxie ont quant à elles obtenu une différence significative qui reste à nuancer. Ces résultats semblent être en accord avec ce que nous pouvons lire dans la littérature.

En effet, l'étude réalisée majoritairement sur des sujets masculins de Brocherie et al. (2017) avance que l'entraînement de sprints répétés en hypoxie (RSH) est une stratégie d'entraînement qui permet une meilleure amélioration de la capacité à réaliser des sprints répétés (RSA) que l'entraînement de sprints répétés en normoxie (RSN). Le RSH semble donc offrir des avantages pour améliorer les performances physiques en RSA chez les hommes. Ce protocole d'entraînement favoriserait une meilleure utilisation de l'oxygène, une distribution améliorée de l'oxygène aux fibres musculaires à contraction rapide (fibres de type II) et une élimination plus efficace des métabolites. Le RSH pourrait aussi induire des adaptations physiologiques spécifiques comme une vasodilatation compensatoire et des

changements de phénotype favorables aux fibres musculaires glycolytiques à contraction rapide (49).

De plus, Faiss et al. (2013) rapportent qu'entre le pré et post-test, la puissance moyenne des sprints a été augmentée que l'entraînement ait eu lieu en hypoxie ou en normoxie, mais le nombre de sprints a lui été amélioré suite à l'entraînement en hypoxie contrairement à celui en normoxie. Cela pourrait s'expliquer par une meilleure amélioration de la perfusion sanguine lors des entraînements en hypoxie, ce qui pourrait retarder la fatigue musculaire et donc permettre d'effectuer des sprints supplémentaires (41). Dans l'étude de Kasai et al. (2015) comparant les effets des entraînements en hypoxie et en normoxie chez les athlètes féminines, nous pouvons également observer l'effet de l'entraînement en hypoxie. Effectivement, le groupe s'entraînant en hypoxie a montré une augmentation significative du temps jusqu'à l'épuisement (TTE) après la période d'entraînement, contrairement à ce qui a été observé dans le groupe s'entraînant en normoxie, chez qui il n'y avait aucun changement significatif (45). Cependant, il convient de souligner que les mécanismes responsables de ces améliorations n'ont pas été étudiés dans cette précédente étude, contrairement à l'approche adoptée par Faiss et al. (2013). En effet, aucune biopsie musculaire n'a été réalisée, laissant ainsi les mécanismes moléculaires associés inexplorés. Par conséquent, nous ne pouvons pas affirmer que les conclusions avancées, concernant une meilleure amélioration de la perfusion sanguine lors des entraînements en hypoxie, peuvent être généralisées aux sujets féminins participants à l'étude de Kasai et al. (2015).

4.2. Indice de saturation tissulaire

Nos résultats nous montrent, via l'indice de saturation tissulaire, que les femmes possèdent en moyenne une meilleure récupération d'oxygène au niveau musculaire. En effet, en comparant les hommes et les femmes au sein des mêmes groupes, nous constatons que lors des phases de récupérations et de sprints, les femmes ont constamment un indice de saturation tissulaire supérieur aux hommes. Cette différence est significative dans toutes les conditions à l'exception des pré-tests en normoxie et hypoxie lors des phases de récupération et du pré-test en normoxie lors des phases de sprint.

Via ces résultats, nous pouvons traduire que les femmes possèdent une meilleure capacité à récupérer. Plusieurs études ont prouvé que les muscles des femmes sont capables de temps d'endurance plus longs et d'une récupération plus rapide que ceux des hommes (50) (51) (52). Cependant, nous savons à présent que les femmes possèdent un pourcentage de masse grasse plus important que celui des hommes et qu'elles ont tendance à accumuler davantage ce tissu adipeux autour de leurs hanches et de leurs cuisses (*cf.* 1.2.2. *Les différences anthropométriques*). Dès lors, il apparaît que cela pourrait interférer les résultats récoltés via le dispositif NIRS. Effectivement, Niemeijer et al. (2017) ont démontré dans leur étude que l'épaisseur du tissu adipeux peut modifier les données obtenues par l'appareil en surestimant l'oxygénation réelle du muscle squelettique et en diminuant sa sensibilité à la désoxygénation (53).

Dans l'étude de Santisteban et al. (2022), nous avons pu lire que les femmes présentent une plus grande résistance à la fatigue en raison d'une surface proportionnelle de fibres de type I plus importante (8) . En tenant compte de cela, Kitada et al. (2015) suggèrent que les personnes ayant une proportion plus élevée de fibres musculaires de type I présentent des niveaux d'hémoglobine et de myoglobine oxygénés (oxyHb/Mb) plus élevés dans leurs muscles lorsqu'elles atteignent l'épuisement pendant un exercice de course maximale (54). Il est donc prouvé que les femmes possèdent un TSI supérieur à celui des hommes, notamment dû à la proportion plus élevée de fibres musculaires de type I. Cependant, nous devons rester prudents dans l'analyse de ces résultats car il est également prouvé que d'autres paramètres peuvent venir influencer ces valeurs, comme par exemple l'épaisseur du tissu adipeux.

Une autre étude s'est intéressée à la différence de performance entre les hommes et les femmes lors de sprints courts répétés. Les auteurs en ressortent que les hommes possèdent un travail absolu plus élevé mais qu'ils détiennent une plus grande diminution de ce travail que les femmes (55). Selon Billaut et Bishop (2009), ces différences de force, de puissance et de résistance à la fatigue entre les hommes et les femmes sont expliquées via des propriétés morphologiques, métaboliques et neuromusculaires du tissu musculaire différentes (56). La différence entre les sexes

dans la capacité à retarder la diminution de la production mécanique serait due aux différentes stratégies de recrutement musculaire adoptées par les hommes et les femmes pour faire face aux contraintes de fatigue. Il est suggéré que les femmes peuvent être moins sensibles que les hommes à l'oxygène disponible, entraînant des ajustements neuromusculaires plus faibles lors d'un exercice intense impliquant de grandes masses musculaires (57).

L'étude de Casey et al. (2014) révèle que les femmes possèdent une meilleure réponse vasodilatatrice compensatoire à l'exercice en hypoxie. Cela suggère qu'elles ont une capacité accrue à adapter leur circulation sanguine pour optimiser l'apport d'oxygène aux muscles en condition d'hypoxie (58). De plus, les résultats de l'étude de Cardinale et al. (2018) évoquent que les femmes développent une adaptation de la cascade d'oxygène pour optimiser l'absorption musculaire d'oxygène pendant l'exercice en hypoxie. Cette adaptation compenserait un apport d'oxygène potentiellement inférieur pendant l'exercice, assurant ainsi un approvisionnement adéquat en oxygène aux muscles pour maintenir les performances physiques (59). Dès lors, notre hypothèse serait que les femmes pourraient avoir un avantage en termes de performance en hypoxie, mais elles pourraient également montrer des adaptations moins prononcées que les hommes, en raison d'une perturbation moindre de leur organisme. En effet, l'objectif d'un programme d'entraînement est de venir perturber l'homéostasie du sujet afin de créer des adaptations.

En comparant les pré et post-tests de nos résultats, nous pouvons en déduire qu'il y a eu une amélioration dans tous les groupes à propos de l'indice de saturation tissulaire durant les phases de récupérations et de sprints. En effet, nous constatons une différence significative au sein de nos 4 groupes. L'étude de Pramkratok et al. (2022) a démontré que le RSH sur une période de six semaines en rugby à sept entraînait une meilleure résistance à la fatigue en comparaison à un groupe ayant suivi ces mêmes entraînements en normoxie (60). Cette amélioration semble liée, selon Pramkratok et al. à une désoxygénation accrue des muscles squelettiques, éventuellement par l'augmentation des taux sériques de HIF-1 α (facteur induit par l'hypoxie) et de VEGF (facteur de croissance de l'endothélium vasculaire). Nos résultats vont dans le même sens que cette étude au niveau de l'entraînement en

RSH. Cependant, nous constatons cette même amélioration pour les groupes en normoxie.

4.3. Puissance moyenne et maximale

Comme nous avons pu le constater précédemment, la littérature suggère que la puissance moyenne des sprints soit augmentée, que l'entraînement ait eu lieu en hypoxie ou en normoxie (41). Cela est en accord avec nos résultats qui stipulent que la puissance moyenne a augmenté de manière significative dans les 4 groupes entre le pré et post-test. Malgré une amélioration dans les 4 groupes, nous remarquons une différence significative plus importante dans les groupes féminins que dans les groupes masculins. Cela induit que les femmes possèdent une meilleure amélioration entre les pré et post-tests en ce qui concerne la puissance moyenne développée durant les sprints répétés. Nous nous sommes dès lors posé la question suivante : « cette plus grande amélioration est-elle liée au niveau de forme/pratique sportive initiale plus faible chez les femmes dans notre échantillon ? ». À la suite de l'analyse des carnets d'activité physique (*Annexe 4*), nous remarquons un nombre d'heures par semaine de pratique sportive plus faible dans le groupe de femmes en normoxie : 5h48 pour les femmes en normoxie contre 7h54 pour les hommes en normoxie et 9h30 pour les hommes en hypoxie. Cette différence de progression entre les hommes et les femmes peut venir de ce niveau de base inférieur. Cependant, le groupe de femmes en hypoxie possédait déjà un niveau de pratique sportive similaire à celui des hommes : 8h42 par semaine. Notre hypothèse sur l'état de forme initial inférieur chez les femmes expliquant une plus grande marge de progression ne semble donc pas être en adéquation avec les femmes en hypoxie.

Dans l'étude de Kasai et al. (2015) se concentrant uniquement sur les différences en hypoxie et en normoxie chez les athlètes féminines, les 2 groupes ont montré une augmentation significative de la puissance moyenne après la période d'entraînement. Cependant, le groupe RSH a montré une augmentation significativement plus importante que le groupe RSN (45). Nous pouvons observer une certaine concordance avec nos résultats quant à l'amélioration significative de la puissance moyenne après la période d'entraînement dans les groupes féminins

(RSN et RSH). Mais nous pouvons également observer une légère discordance. En effet, bien que la différence soit minime entre les 2 groupes, nous remarquons que le groupe féminin RSN possède une amélioration légèrement plus importante que le groupe féminin RSH. Toutefois, cette discordance est à nuancer vu la faible différence présente entre les 2 groupes.

Lafranchi et al. (2024) se sont concentrés quant à eux uniquement sur les hommes. Ils ont constaté, comme dans notre étude, que la puissance moyenne a été significativement augmentée pour le test RSA, aussi bien en condition de normoxie qu'en hypoxie (61). Effectivement, lors de l'analyse de nos résultats, nous avons pu constater une augmentation significative de la puissance moyenne après la période d'entraînement dans les groupes hommes en normoxie. L'analyse de Bishop et al. (2011) nous explique les différents facteurs déterminants la performance lors d'un test RSA. Des limitations de l'approvisionnement en énergie, comme par exemple la resynthèse de la phosphocréatine, la glycolyse aérobie et anaérobie, peuvent être responsables de la diminution des performances ainsi que l'accumulation de métabolites, comme le phosphate inorganique et les ions H^+ . Il semblerait également que le fait de ne pas activer complètement le muscle en contraction puisse limiter les performances en sprints répétés. De plus, ils constatent que 5 à 12 semaines d'entraînement permettent d'augmenter de 5 à 6,1% la VO_{2max} (28).

Concernant la puissance maximale, aucune différence significative n'a été détectée dans les 4 groupes entre le pré et post-test. Contrairement à nos résultats, nous pouvons trouver dans la littérature que la puissance maximale s'est vue améliorée en post-test en condition d'hypoxie mais pas en normoxie (62). La comparaison est tout de même à nuancer car dans l'étude de Beard et al. (2019), les participants sont tous des rugbymans ayant effectué 4 séances de RSH.

Cependant, en comparant les groupes hommes et femmes, nous pouvons constater une différence significative. Ces résultats suggèrent que les hommes ont une puissance maximale supérieure à celle des femmes et cela semble logique étant donné qu'il s'agit de la puissance maximale absolue et non relative. Dans leur étude sur les différences entre les hommes et les femmes lors d'un exercice maximal répétitif, Brooks et al. (1990) confirment que les hommes possèdent une puissance

maximale absolue supérieure à celle des femmes (63). Cette différence de puissance maximale pourrait être expliquée par plusieurs caractéristiques : les types de fibres musculaires, la masse musculaire et la composition corporelle (*cfr. 1. Introduction*). Effectivement, les hommes présentent une plus grande proportion de fibres musculaires de type IIa, des fibres à contraction rapide, ce qui explique leur puissance maximale plus élevée que les femmes, car ces dernières possèdent principalement des fibres de type I, qui sont des fibres à contraction lente (64). De plus, ils ont une masse musculaire supérieure à celle des femmes notamment dû à leur différence de taille. Celle-ci est un prédicteur de la masse musculaire, ce qui probablement contribue aussi à leur capacité à développer une puissance maximale plus importante (16).

4.4. Perception de l'effort

La perception de l'effort a été mesurée après les pré et post-tests au sein de tous les groupes via l'échelle de Borg (échelle de 6 à 20) ainsi que la douleur au niveau des jambes (VAS, échelle de 0 à 10). Une différence significative a été constatée entre les pré et post-tests chez les hommes et femmes en condition normoxie. Aucune différence significative n'a été mesurée pour les groupes en hypoxie entre ces pré et post-tests concernant la perception de l'effort. Au niveau de la perception de la douleur durant les pré et post-tests, nous n'observons aucune différence significative. Nous soulignons une même constatation en comparant les sexes entre eux. L'étude de Morishita et al. (2021) a mis en relation l'effort perçu avec la désoxygénation des muscles des jambes lors d'un exercice progressif. Ils ont conclu que la perception de l'effort est significativement corrélée avec les paramètres cardiopulmonaires et d'oxygénation des muscles des jambes. Au plus un exercice est intense, au plus cette perception de l'effort augmente (65).

Une autre étude (66) affirme que l'échelle de Borg est un bon indicateur de l'intensité de l'exercice. Cette échelle est même indépendante de l'âge, du sexe, des antécédents médicaux, du niveau d'activité physique et de la modalité de l'exercice. Il semble donc normal dans notre étude de ne constater aucune différence significative entre les sexes à propos de cette échelle de Borg. Aucune étude n'a trouvé d'évolution de la perception de l'effort à un test RSA après un protocole

d'entraînement. Cela pourrait s'expliquer premièrement par le fait que ces échelles sont subjectives, elles reposent sur des perceptions individuelles de l'effort plutôt que sur des mesures objectives telles que la fréquence cardiaque ou la puissance. Ensuite, nous pourrions émettre comme hypothèse que ces deux échelles ont été évaluées sur des tests maximaux, où le participant pousse jusqu'à ses limites. L'évaluation de ces échelles sera plutôt élevée pour les pré et post-tests. Nous aurions pu constater des différences si le participant ne fournit pas un effort maximal et s'arrête au même moment qu'au pré-test.

4.5. Lactate

En ce qui concerne la concentration maximale en lactate, nous n'avons observé aucune différence significative entre les pré et post-tests au sein de nos 4 groupes. Cela veut dire que la concentration maximale en lactate reste inchangée lors d'un test de sprints répétés avant et après un protocole d'entraînement de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie. L'étude de Brechbuhl et al. (2020) a obtenu ces mêmes résultats. Ils ont analysé le lactate maximal lors d'un test RSA avant et après un protocole de cinq séances de sprints répétés spécifiques au tennis (67). Dans notre étude, nous observons de très légères différences en hypoxie avec un lactate maximal qui a tendance à diminuer au post-test mais ces dernières ne sont pas significatives. Nous pouvons donc dire que l'effet de l'entraînement de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie n'influence pas le lactate maximal lors d'un test RSA. Une seconde étude a mesuré le lactate dans le sang mais, cette fois-ci, lors des séances d'entraînement de sprints répétés en normoxie ou en hypoxie. Ils ont constaté que le lactate avait tendance à être plus élevé dans des conditions hypoxiques comparé aux conditions de normoxies (68). Ils en concluent que l'hypoxie pourrait permettre une augmentation de la glycolyse anaérobie en réponse à une réduction de l'absorption d'oxygène. Cette augmentation pourrait être due à une altération de la clairance du lactate (capacité de l'organisme à éliminer le lactate produit pendant l'exercice). Les mêmes constatations ressortent en ce qui concerne les différences entre les hommes et les femmes à propos du lactate maximal sanguin, aucune différence significative n'a été observée. L'étude de Korhonen et al. (2005) analysant des épreuves de sprints (100m, 200m et 400m) obtient des résultats similaires. En effet, ils n'observent pas de différences significatives entre

les hommes et les femmes concernant la réponse de lactate sanguin à la course de sprint. Par contre, l'âge semble quant à lui influencer cette réponse du lactate (69). En outre, Jurkowski et al. (1981) ont démontré que selon la phase du cycle menstruel, la production de lactate semble être influencée : diminution de la production de lactate durant la phase lutéale (niveaux d'œstradiol et de progestérone élevés) (70). Dès lors, il semblerait judicieux d'approfondir les recherches concernant l'influence de l'âge des participantes et du cycle menstruel sur le lactate sanguin durant des phases de sprints.

Nous n'avons pas identifié d'articles visant à analyser le temps d'apparition du lactate maximal après un test RSA. Nos résultats nous montrent que ce temps d'apparition du lactate maximal a légèrement tendance à diminuer, en moyenne, pour les groupes hommes hypoxie, femmes normoxie et femmes hypoxie. Cependant, aucune différence significative n'est apparue. Nous ne pouvons donc dire que le type de protocole d'entraînement (hypoxie ou normoxie) influence la capacité d'élimination du lactate.

4.6. Limites de l'étude

Dans le cadre de notre étude visant à rechercher et comprendre les différences entre les hommes et les femmes à la suite d'un entraînement de sprints répétés en hypoxie ou en normoxie, nous pouvons proposer plusieurs limites.

Tout d'abord, afin d'analyser les différences entre les sexes au niveau moléculaire, il aurait pu être pertinent d'effectuer des biopsies musculaires durant les pré et post-tests. Cependant, cela rendrait l'étude plus coûteuse et surtout plus invasive ce qui compliquerait davantage le recrutement des participants.

Ensuite, il y avait des participantes avec et sans contraception hormonale dans notre étude. Nous trouvons qu'il serait plus judicieux de recruter uniquement des femmes utilisant des moyens de contraception hormonale, car cela garantit une stabilité et une faible concentration d'hormones tout au long du cycle. En l'absence de contraception hormonale chez les femmes, les fluctuations hormonales observées tout au long du cycle pourraient potentiellement impacter leurs performances physiques (22).

Par ailleurs, les réglages de résistance ont été programmés en fonction de la masse corporelle totale, et non en tenant compte de la masse maigre. Étant donné que les femmes ont généralement un pourcentage de masse maigre inférieur à celui des hommes, il serait préférable d'ajuster les paramètres en conséquence car cela peut rendre le test plus difficile pour les femmes (18).

En ce qui concerne la localisation du Near-Infrared Spectroscopy (NIRS), l'appareil était placé sur la jambe droite pour tous les participants. Nous trouvons qu'il serait plus judicieux de placer l'appareil sur la jambe dominante, car cela pourrait influencer les réponses musculaires. Une autre limite à considérer à propos du NIRS est que, comme les femmes présentaient une masse grasse plus importante, cela implique que la distance entre l'appareil (NIRS) et le muscle était potentiellement plus grande chez les femmes, ce qui pourrait influencer les résultats obtenus.

Nous pouvons ajouter qu'idéalement, un minimum de 12 individus au sein de chaque groupe permettrait de garantir une représentation significative des résultats. Nos échantillons étaient composés de 11 individus pour les hommes en normoxie, 8 pour les femmes en normoxie, 12 pour les hommes en hypoxie et 10 pour les femmes en hypoxie.

Pour finir, nous pensons qu'il aurait peut-être été approprié de mesurer la fréquence cardiaque sur chaque sprint effectué lors du test RSA afin de déterminer le moment où elle augmente réellement, ce qui peut varier selon les individus.

5. Conclusion

En conclusion, notre étude a mis en évidence plusieurs aspects cruciaux quant aux effets de l'entraînement de sprints répétés en hypoxie et en normoxie sur les performances en normoxie. Tout d'abord, nous avons observé une augmentation du nombre de sprints réalisés suite à une période d'entraînement en hypoxie, mais pas en normoxie chez les hommes et les femmes. Cela induit que le temps jusqu'à l'épuisement s'est trouvé prolongé grâce à l'entraînement en RSH. Par ailleurs, l'analyse de l'indice de saturation tissulaire a révélé que les femmes présentent en moyenne une meilleure capacité de récupération d'oxygène au niveau musculaire, suggérant ainsi un possible avantage dans la récupération par rapport aux hommes. De plus, nos résultats ont montré une amélioration significative de l'indice de saturation tissulaire suite à l'entraînement de sprints répétés, qu'il soit réalisé en hypoxie ou en normoxie. Enfin, en ce qui concerne la puissance moyenne, nous avons observé des augmentations notables aussi bien en hypoxie qu'en normoxie chez les hommes et les femmes, avec des améliorations légèrement plus marquées pour les groupes féminins.

Ces constatations soulignent l'importance de considérer les différences de sexe dans la conception des programmes d'entraînement et dans l'interprétation des résultats. Nos conclusions actuelles confirment que l'entraînement en hypoxie présente également des avantages pour les femmes. Cependant, il est important de reconnaître que les réactions à cet entraînement varient d'une personne à l'autre. Par conséquent, nous recommandons l'entraînement en hypoxie avec des sprints répétés pour les sports collectifs et de raquette, où des performances de sprint courts et répétés sont nécessaires. Ces recommandations sont également valables pour les sportifs récréationnels mais le coût associé à ce type d'entraînement pourrait constituer un obstacle.

6. Bibliographie

1. Drescher J. Chapter 2 - Gender Diagnoses. In: Legato MJ, editor. Principles of Gender-Specific Medicine (Third Edition). San Diego: Academic Press; 2017. p. 17-26.
2. Elliott-Sale KJ, Minahan CL, de Jonge X, Ackerman KE, Sipilä S, Constantini NW, et al. Methodological Considerations for Studies in Sport and Exercise Science with Women as Participants: A Working Guide for Standards of Practice for Research on Women. *Sports Med.* 2021;51(5):843-61.
3. Thurlow F, Weakley J, Townshend AD, Timmins RG, Morrison M, McLaren SJ. The Acute Demands of Repeated-Sprint Training on Physiological, Neuromuscular, Perceptual and Performance Outcomes in Team Sport Athletes: A Systematic Review and Meta-analysis. *Sports Medicine.* 2023;53(8):1609-40.
4. Brocherie F, Girard O, Faiss R, Millet GP. Effects of Repeated-Sprint Training in Hypoxia on Sea-Level Performance: A Meta-Analysis. *Sports Medicine.* 2017;47(8):1651-60.
5. Nombre d'affiliés dans les Fédérations sportives reconnues par la FW-B [Internet]. 2022. Available from: <https://statistiques.cfwb.be/sport/federations-sportives/nombre-daffilies-dans-les-federations-sportives-reconnues-par-la-fw-b/>.
6. Stracciolini A, Amar-Dolan L, Howell DR, Alex T, Berkner P, Sandstrom NJ, et al. Female Sport Participation Effect on Long-Term Health-Related Quality of Life. *Clin J Sport Med.* 2020;30(6):526-32.
7. Committee IO. Olympic Charter. Lausanne: Maison Olympique; 2013.
8. Santisteban KJ, Lovering AT, Halliwill JR, Minson CT. Sex Differences in VO₂(max) and the Impact on Endurance-Exercise Performance. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(9).
9. 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.
10. Bassett DR, Jr., Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32(1):70-84.
11. G VM, Matos P, Correia JM. Running economy in recreational male and female runners with similar levels of cardiovascular fitness. *J Appl Physiol* (1985). 2020;129(3):508-15.
12. Støa EM, Helgerud J, Rønnestad BR, Hansen J, Ellefsen S, Støren Ø. Factors Influencing Running Velocity at Lactate Threshold in Male and Female Runners at Different Levels of Performance. *Front Physiol.* 2020;11:585267.
13. Ansdell P, Škarabot J, Atkinson E, Corden S, Tygart A, Hicks KM, et al. Sex differences in fatigability following exercise normalised to the power-duration relationship. *J Physiol.* 2020;598(24):5717-37.
14. Tarnopolsky MA, Atkinson SA, Phillips SM, MacDougall JD. Carbohydrate loading and metabolism during exercise in men and women. *J Appl Physiol* (1985). 1995;78(4):1360-8.
15. Tarnopolsky MA, Ruby BC. Sex differences in carbohydrate metabolism. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2001;4(6):521-6.
16. Handelsman DJ, Hirschberg AL, Berman S. Circulating Testosterone as the Hormonal Basis of Sex Differences in Athletic Performance. *Endocr Rev.* 2018;39(5):803-29.
17. Jelenkovic A, Sund R, Hur Y-M, Yokoyama Y, Hjelmberg JvB, Möller S, et al. Genetic and environmental influences on height from infancy to early adulthood: An individual-based pooled analysis of 45 twin cohorts. *Scientific Reports.* 2016;6(1):28496.
18. Aurélien D. Perte de poids : quelles différences entre les hommes et les femmes ? . RTBF. 2024.

19. Bredella MA. Sex Differences in Body Composition. In: Mauvais-Jarvis F, editor. *Sex and Gender Factors Affecting Metabolic Homeostasis, Diabetes and Obesity*. Cham: Springer International Publishing; 2017. p. 9-27.
20. Holtzman B, Ackerman KE. Recommendations and Nutritional Considerations for Female Athletes: Health and Performance. *Sports Med*. 2021;51(Suppl 1):43-57.
21. 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 Medicine*. 2022;52(12):2813-9.
22. 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.
23. Rickenlund A, Carlström K, Ekblom B, Brismar TB, Von Schoultz B, Hirschberg AL. Effects of oral contraceptives on body composition and physical performance in female athletes. *J Clin Endocrinol Metab*. 2004;89(9):4364-70.
24. Oosthuysen 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.
25. Girard O, Mendez-Villanueva A, Bishop D. Repeated-Sprint Ability — Part I. *Sports Medicine*. 2011;41(8):673-94.
26. Balsom PD, Seger JY, Sjödin B, Ekblom B. Maximal-Intensity Intermittent Exercise: Effect of Recovery Duration. *Int J Sports Med*. 1992;13(07):528-33.
27. Kluger BM, Krupp LB, Enoka RM. Fatigue and fatigability in neurologic illnesses: proposal for a unified taxonomy. *Neurology*. 2013;80(4):409-16.
28. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. Repeated-Sprint Ability — Part II. *Sports Medicine*. 2011;41(9):741-56.
29. Harper DJ, Carling C, Kiely J. High-Intensity Acceleration and Deceleration Demands in Elite Team Sports Competitive Match Play: A Systematic Review and Meta-Analysis of Observational Studies. *Sports Med*. 2019;49(12):1923-47.
30. Wadley G, Le Rossignol P. The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. *J Sci Med Sport*. 1998;1(2):100-10.
31. Thurlow F, Huynh M, Townshend A, McLaren SJ, James LP, Taylor JM, et al. The Effects of Repeated-Sprint Training on Physical Fitness and Physiological Adaptation in Athletes: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*. 2023.
32. Bailey SJ, Wilkerson DP, Dimenna FJ, Jones AM. Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *J Appl Physiol* (1985). 2009;106(6):1875-87.
33. Gharbi Z, Dardouri W, Haj-Sassi R, Chamari K, Souissi N. Aerobic and anaerobic determinants of repeated sprint ability in team sports athletes. *Biol Sport*. 2015;32(3):207-12.
34. SERPIELLO FR, MCKENNA MJ, BISHOP DJ, AUGHEY RJ, CALDOW MK, CAMERON-SMITH D, STEPTO NK. Repeated Sprints Alter Signaling Related to Mitochondrial Biogenesis in Humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2012;44(5):827-34.
35. Taylor J, Macpherson T, Spears I, Weston M. The Effects of Repeated-Sprint Training on Field-Based Fitness Measures: A Meta-Analysis of Controlled and Non-Controlled Trials. *Sports Medicine*. 2015;45(6):881-91.
36. Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1998;78(2):163-9.
37. Cristina MM, Catalin G. Study on the influence of training at altitude (2000m) on the maximum aerobic velocity in athletics (Mountain race). *Science, Movement and Health*. 2015;15(2):135-46.

38. McMorris T, Hale BJ, Barwood M, Costello J, Corbett J. Effect of acute hypoxia on cognition: A systematic review and meta-regression analysis. *Neurosci Biobehav Rev*. 2017;74(Pt A):225-32.
39. Levine BD. Intermittent hypoxic training: fact and fancy. *High Alt Med Biol*. 2002;3(2):177-93.
40. Millet GP, Roels B, Schmitt L, Woorons X, Richalet JP. Combining Hypoxic Methods for Peak Performance. *Sports Medicine*. 2010;40(1):1-25.
41. Faiss R, Léger B, Vesin JM, Fournier PE, Eggel Y, Dériaz O, Millet GP. Significant molecular and systemic adaptations after repeated sprint training in hypoxia. *PLoS One*. 2013;8(2):e56522.
42. Galvin HM, Cooke K, Sumners DP, Mileva KN, Bowtell JL. Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br J Sports Med*. 2013;47 Suppl 1(Suppl 1):i74-9.
43. Zelenovic M, Kontro T, Stojanović T, Alexe D, Božić D, Aksović N, et al. Effects of Repeated Sprint Training in Hypoxia on Physical Performance Among Athletes: A Systematic Review. *International Journal of Morphology*. 2021;39:1625-34.
44. Kong Z, Lei OK, Sun S, Li L, Shi Q, Zhang H, Nie J. Hypoxic repeated sprint interval training improves cardiorespiratory fitness in sedentary young women. *J Exerc Sci Fit*. 2022;20(2):100-7.
45. Kasai N, Mizuno S, Ishimoto S, Sakamoto E, Maruta M, Goto K. Effect of training in hypoxia on repeated sprint performance in female athletes. *Springerplus*. 2015;4:310.
46. Ait Ali Braham M, Ouchen Y, Woorons X. Effects of a 6-Week Repeated-Sprint Training With Voluntary Hypoventilation at Low and High Lung Volume on Repeated-Sprint Ability in Female Soccer Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2024:1-8.
47. Brocherie F, Racinais S, Couderc A, Piscione J, Girard O. Four Sessions of Repeated-Sprint Cycling Training With or Without Severe Hypoxia Do Not Modify Overground Running Sprint Force–Velocity Profile. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2024;19(1):80-3.
48. Vogel K, Larsen B, McLellan C, Bird SP. Female Athletes and the Menstrual Cycle in Team Sports: Current State of Play and Considerations for Future Research. *Sports (Basel)*. 2023;12(1).
49. Brocherie F, Girard O, Faiss R, Millet GP. Effects of Repeated-Sprint Training in Hypoxia on Sea-Level Performance: A Meta-Analysis. *Sports Med*. 2017;47(8):1651-60.
50. Hunter SK, Enoka RM. Sex differences in the fatigability of arm muscles depends on absolute force during isometric contractions. *J Appl Physiol (1985)*. 2001;91(6):2686-94.
51. Miller AEJ, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Sale DG. Gender differences in strength and muscle fiber characteristics. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1993;66(3):254-62.
52. West W, Hicks A, Clements L, Dowling J. The relationship between voluntary electromyogram, endurance time and intensity of effort in isometric handgrip exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*. 1995;71(4):301-5.
53. Niemeijer VM, Jansen JP, van Dijk T, Spee RF, Meijer EJ, Kemps HM, Wijn PF. The influence of adipose tissue on spatially resolved near-infrared spectroscopy derived skeletal muscle oxygenation: the extent of the problem. *Physiol Meas*. 2017;38(3):539-54.
54. Kitada T, Machida S, Naito H. Influence of muscle fibre composition on muscle oxygenation during maximal running. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2015;1(1):e000062.
55. Yanagiya T, Kanehisa H, Kouzaki M, Kawakami Y, Fukunaga T. Effect of gender on mechanical power output during repeated bouts of maximal running in trained teenagers. *Int J Sports Med*. 2003;24(4):304-10.

56. Billaut F, Bishop D. Muscle Fatigue in Males and Females during Multiple-Sprint Exercise. *Sports Medicine*. 2009;39(4):257-78.
57. Billaut F, Smith K. Sex alters impact of repeated bouts of sprint exercise on neuromuscular activity in trained athletes. *Appl Physiol Nutr Metab*. 2009;34(4):689-99.
58. Casey DP, Shepherd JR, Joyner MJ. Sex and vasodilator responses to hypoxia at rest and during exercise. *J Appl Physiol* (1985). 2014;116(7):927-36.
59. Cardinale DA, Larsen FJ, Schiffer TA, Morales-Alamo D, Ekblom B, Calbet JAL, et al. Superior Intrinsic Mitochondrial Respiration in Women Than in Men. *Front Physiol*. 2018;9:1133.
60. Pramkratok W, Songsupap T, Yimlamai T. Repeated sprint training under hypoxia improves aerobic performance and repeated sprint ability by enhancing muscle deoxygenation and markers of angiogenesis in rugby sevens. *European Journal of Applied Physiology*. 2022;122(3):611-22.
61. Lanfranchi C, Willis SJ, Laramée L, Conde Alonso S, Pialoux V, Kayser B, et al. Repeated sprint training in hypoxia induces specific skeletal muscle adaptations through S100A protein signaling. *Faseb j*. 2024;38(8):e23615.
62. Beard A, Ashby J, Chambers R, Brocherie F, Millet GP. Repeated-Sprint Training in Hypoxia in International Rugby Union Players. *Int J Sports Physiol Perform*. 2019;14(6):850–4.
63. Brooks S, Nevill ME, Meleagros L, Lakomy HK, Hall GM, Bloom SR, Williams C. The hormonal responses to repetitive brief maximal exercise in humans. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;60(2):144-8.
64. Jeon Y, Choi J, Kim HJ, Lee H, Lim JY, Choi SJ. Sex- and fiber-type-related contractile properties in human single muscle fiber. *J Exerc Rehabil*. 2019;15(4):537-45.
65. Morishita S, Tsubaki A, Hotta K, Kojima S, Sato D, Shirayama A, et al. Relationship Between the Borg Scale Rating of Perceived Exertion and Leg-Muscle Deoxygenation During Incremental Exercise in Healthy Adults. *Adv Exp Med Biol*. 2021;1269:95-9.
66. Scherr J, Wolfarth B, Christle JW, Pressler A, Wagenpfeil S, Halle M. Associations between Borg's rating of perceived exertion and physiological measures of exercise intensity. *Eur J Appl Physiol*. 2013;113(1):147-55.
67. Brechbuhl C, Brocherie F, Willis SJ, Blokker T, Montalvan B, Girard O, et al. On the Use of the Repeated-Sprint Training in Hypoxia in Tennis. *Front Physiol*. 2020;11:588821.
68. Morrison J, McLellan C, Minahan C. A Clustered Repeated-Sprint Running Protocol for Team-Sport Athletes Performed in Normobaric Hypoxia. *J Sports Sci Med*. 2015;14(4):857-63.
69. Korhonen MT, Suominen H, Mero A. Age and sex differences in blood lactate response to sprint running in elite master athletes. *Can J Appl Physiol*. 2005;30(6):647-65.
70. Jurkowski JE, Jones NL, Toews CJ, Sutton JR. Effects of menstrual cycle on blood lactate, O₂ delivery, and performance during exercise. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol*. 1981;51(6):1493-9.

7. Annexes

Annexe 1 : Questionnaire d'activité physique/mode de vie

Questionnaire d'activité physique/mode de vie

Renseignements généraux

Nom:	Prénom:	Date de naissance:
Rue:	N°:	Ville:
Téléphone:	GSM:	E-mail:

*Comment ou par qui avez-vous entendu parler de cette étude ?

Questions relatives à l'activité physique :

Quelles disciplines sportives pratiquez-vous? Combien d'heures par semaine par discipline ?

Combien de fois par semaine effectuez-vous des entraînements de sprints répétés ?

Questions relatives au mode de vie :

Êtes-vous fumeur?

Lieu de naissance?

Avez-vous toujours vécu au niveau de la mer ?

Avez-vous été exposé à une altitude supérieure à 1500m au cours du dernier mois ?

Date :

Signature :

Annexe 2 : Questionnaire de dépistage médical

Questionnaire médical

Veillez remplir ce questionnaire de manière la plus complète possible

Renseignements généraux

Nom: naissance:	Prénom:	Date de
Rue:	N°:	Ville:
Téléphone:	GSM:	E-mail:

	OUI	NON	Explication
1. Es-tu déjà tombé dans les pommes pendant ou après un effort?	☐	☐	
2. As-tu déjà eu des vertiges pendant ou après un effort?	☐	☐	
3. As-tu déjà ressenti une douleur dans la poitrine pendant ou après un effort?	☐	☐	
4. As-tu déjà eu des palpitations cardiaques ou des troubles de la conduction?	☐	☐	
5. Es-tu plus vite fatigué que les autres lors d'un entraînement?	☐	☐	
6. As-tu déjà eu une tension haute ou trop de cholestérol?	☐	☐	
7. As-tu déjà eu un souffle au coeur?	☐	☐	
8. Est-ce que quelqu'un de ta famille est déjà mort des suites de problèmes cardiaques ou de mort subite avant l'âge de 50 ans?	☐	☐	
9. As-tu eu une infection virale sévère (par exemple, inflammation du myocarde ou mononucléose) le mois dernier?	☐	☐	
10. As-tu une allergie à quelque chose (pollen, médicament, nourriture, insectes,...)?	☐	☐	
11. As-tu déjà eu une éruption cutanée ou une démangeaison pendant l'effort?	☐	☐	
12. As-tu déjà souffert de toux, essoufflement ou tout autre problème ventilatoire pendant ou après effort?	☐	☐	
13. As-tu de l'asthme?	☐	☐	
14. Prends-tu actuellement des médicaments prescrits ou non ou utilises-tu un inhalateur?	☐	☐	
15. Souffres-tu actuellement d'une maladie ou suis-tu un traitement chronique?	☐	☐	
16. As-tu déjà été à l'hôpital?	☐	☐	

17. As-tu déjà dû arrêter le sport pendant une longue période à cause d'un problème médical?	☐	☐	☐
18. As-tu déjà eu une fracture ou une entorse?	☐	☐	☐
19. Es-tu blessé en ce moment ou récemment?	☐	☐	☐
20. Utilises-tu des moyens de prévention contre les blessures pendant tes entraînements (semelles, taping,...)?	☐	☐	☐
21. Es-tu régulièrement ennuyé par des douleurs corporelles pendant les entraînements ou compétitions?	☐	☐	☐
22. As-tu déjà eu des pertes de sensations ou des picotements au niveau des bras, jambes ou pieds?	☐	☐	☐
23. As-tu déjà pris des suppléments nutritionnels ou des vitamines pour modifier ton poids ou ta performance?	☐	☐	☐
24. As-tu actuellement une affection de la peau (démangeaison, acné, ampoules, irritation, champignon,...)?	☐	☐	☐
25. As-tu déjà eu une lésion crânienne ou une commotion?	☐	☐	☐
26. As-tu déjà perdu connaissance ou as-tu déjà eu des pertes de mémoire?	☐	☐	☐
27. As-tu déjà eu une crise d'épilepsie?	☐	☐	☐
28. As-tu des maux de tête fréquents ou sérieux?	☐	☐	☐
29. T'es-tu déjà senti mal en faisant du sport en cas de grosse chaleur?	☐	☐	☐
30. Te sens-tu, ces derniers temps, stressé, irritable, abattu ou épuisé?	☐	☐	☐
31. De quand date le dernier contrôle de ton acuité visuelle? + résultat (si connu)	☐	☐	☐
32. Date du dernier contrôle dentaire?	☐	☐	☐
33. Connais-tu ton pouls au repos? Combien? Et quel est l'évolution ces derniers jours et semaines?	☐	☐	☐
34. Es-tu allergique à un médicament ?	☐	☐	☐
35. As-tu de problèmes de coagulation ?	☐	☐	☐

Date :

Signature:

Annexe 3 : Document de consentement

Titre de l'étude :

Effets d'un entraînement de sprints répétés en hypoxie sur la performance sportive en normoxie chez les athlètes masculins et féminines

Promoteur de l'étude :

Université catholique de Louvain (UCLouvain), Place de l'Université 1, 1348 Louvain-la-Neuve

Organisme de recherche :

Laboratoire de l'effort UCLouvain, Place Pierre de Coubertin 1, L08.10.01, 1348 Louvain-la-Neuve

Comité d'Ethique Médicale :

Comité d'Ethique Hospitalo-Facultaire des Cliniques universitaires Saint-Luc – UCLouvain

Investigateurs locaux :

Investigateur principal

Dr Sylvie Copine, laboratoire de physiologie de l'exercice, institut des neurosciences, UCLouvain, Pl. Pierre de Coubertin 1, 1348 Ottignies-Louvain-la-Neuve

0496/53 54 25, sylvie.copine@uclouvain.be

Co-investigateur

Louise Deldicque, laboratoire de physiologie de l'exercice, institut des neurosciences, UCLouvain, Pl. Pierre de Coubertin 1, 1348 Ottignies-Louvain-la-Neuve

0479/66 26 53, louise.deldicque@uclouvain.be

Anna Piperi, laboratoire de physiologie de l'exercice, institut des neurosciences, UCLouvain, Pl. Pierre de Coubertin 1, 1348 Ottignies-Louvain-la-Neuve

0496/84 82 02, anna.piperi@uclouvain.be

<u>CHAPITRE I : INFORMATION ESSENTIELLE À VOTRE DÉCISION DE PARTICIPER</u>	56
<u>Introduction</u>	56
<u>Objectifs et description du protocole de l'étude</u>	56
<u>Déroulement de l'étude</u>	57
<u>Risques et inconvénients</u>	58
<u>Notification d'informations nouvelles</u>	59
<u>Bénéfices</u>	59
<u>Retrait de l'étude</u>	59
<u>Echantillons de matériel biologique collectés au cours de l'étude</u>	60
<u>Si vous participez à cette étude clinique, nous vous demandons :</u>	60
<u>Contact</u>	60
<u>CHAPITRE II : INFORMATIONS COMPLÉMENTAIRES</u>	61
<u>1 : Compléments d'informations sur l'organisation de l'étude</u>	61
<u>2 : Complément d'informations sur la protection et les droits du participant à une étude clinique</u>	62
<u>Comité d'Ethique</u>	62
<u>Participation volontaire</u>	62
<u>Coûts associés à votre participation</u>	62
<u>Garantie de confidentialité</u>	63
<u>Avenir de vos échantillons collectés au cours de l'étude</u>	64
<u>Assurance</u>	64
<u>CHAPITRE III : CONSENTEMENT ÉCLAIRÉ</u>	65
<u>PARTICIPANT(E)</u>	65
<u>INVESTIGATEUR</u>	67

Titre de l'étude :

Effets d'un entraînement de sprints répétés en hypoxie sur la performance sportive en normoxie chez les athlètes masculins et féminines

CHAPITRE I : Information essentielle à votre décision de participer

Introduction

Vous êtes invité à participer à une étude destinée à étudier les effets d'un entraînement en sprints répétés en hypoxie, soit en réduisant l'apport en oxygène dans l'air inspiré, sur la performance sportive au niveau de la mer chez des athlètes masculins et féminines qui participent à des sports d'équipe/de raquette.

Le promoteur et l'investigateur espèrent que cette intervention pourra aider à concevoir des stratégies d'entraînement efficaces et spécifiques aux besoins de l'athlète féminine.

Avant que vous n'acceptiez d'y participer, nous vous invitons à prendre connaissance de ses implications en termes d'organisation, avantages et risques éventuels, afin que vous puissiez prendre une décision en toute connaissance de cause. Ceci s'appelle donner un « consentement éclairé ».

Veuillez lire attentivement ces quelques pages d'information et poser toutes les questions que vous souhaitez à l'investigateur ou à la personne qui le représente. Ce document comprend 3 parties : l'information essentielle à votre prise de décision, des informations complémentaires (annexes) qui détaillent certaines parties de l'information de base, et votre consentement écrit.

Si vous participez à cette étude, vous devez savoir que :

- Cette étude est mise en œuvre après évaluation par un Comité d'Ethique.
- Votre participation est volontaire et doit rester libre de toute contrainte. Elle nécessite la signature d'un document exprimant votre consentement. Même après l'avoir signé, vous pouvez arrêter de participer en informant l'Investigateur Principal.
- Les données recueillies à cette occasion sont confidentielles et votre anonymat est garanti lors de la publication des résultats.
- Une assurance a été souscrite au cas où vous subiriez un dommage lié à votre participation à cette étude clinique.
- Aucun frais ne vous sera facturé pour les visites, tests ou entraînements spécifiques à cette étude.
- Vous pouvez toujours contacter l'Investigateur Principal ou un membre de son équipe si vous avez besoin d'informations complémentaires.

Un complément d'informations sur vos « Droits de participant à une étude clinique » est fourni aux pages 6, 9 et 10.

Objectifs et description du protocole de l'étude

Le but de cette étude est d'étudier les effets d'un entraînement de 7 semaines en sprints répétés en hypoxie sur la performance sportive au niveau de la mer chez des athlètes masculins et féminines qui participent à des sports d'équipe/de raquette.

Avec l'augmentation de la participation des femmes dans le sport, il est essentiel de développer des stratégies d'entraînement adaptées au sexe pour améliorer la performance sportive. Les hommes et les femmes présentent des caractéristiques spécifiques liées au sexe qui peuvent les amener à réagir différemment à l'exercice physique. Malgré des différences notables entre les sexes, les femmes sont toujours sous-représentées dans la recherche en physiologie de l'exercice par rapport aux hommes. Les femmes reçoivent actuellement les mêmes recommandations d'entraînement que les hommes, ce qui peut les conduire à des performances sous-optimales.

Nous vous proposons de participer à cette étude qui inclura 48 volontaires. Pour participer à cette étude, vous devez être une femme sous pilule contraceptive orale monophasiques (ou une autre contraception hormonale) ou un homme âgé(e) de 18 à 40 ans pratiquant de manière récréative un sport d'équipe ou de raquette (minimum 3h/semaine) depuis au moins 2 ans. Pour participer à cette étude, vous ne pouvez pas être fumeur, avoir été exposé à une altitude supérieure à 1500 mètres le mois précédant l'étude, présenter un problème de santé ou blessure pouvant compromettre votre sécurité pendant l'entraînement et les tests, prendre des médicaments incompatibles avec un entraînement de haute intensité et suivre un entraînement préalable en sprints répétés plus d'une fois par semaine.

Il s'agit d'une étude en simple aveugle (le participant n'a pas connaissance de l'altitude à laquelle l'entraînement sera effectué), randomisée (le participant sera attribué au hasard dans l'une des deux conditions d'entraînement, à savoir la condition hypoxie ou la condition niveau de la mer) contrôlée (l'entraînement au niveau de la mer sert de condition contrôle), comparant un groupe de femmes à un groupe d'hommes.

Déroulement de l'étude

Votre participation à l'étude durera environ 2 mois et impliquera 20 visites au laboratoire de l'effort à Louvain-la-Neuve (3 visites=Pré-tests, 14 visites=Entraînements, 3 visites=Post-tests).

Avant les visites :

Vous recevrez par email 2 questionnaires (un questionnaire de dépistage médical et un questionnaire d'activité physique/mode de vie) que vous complèterez et nous renverrez avant la première visite afin de vérifier votre éligibilité à l'étude.

Vous recevez également les formulaires de consentement éclairé que vous devez lire attentivement et noter toute question si vous avez. Si vous acceptez de participer, vous les signerez lors de la première visite.

Nous vous enverrons un carnet alimentaire, que vous commencerez à remplir 3 jours avant la première visite.

Visite 1, ~1h (Pre-screening & Pré-test jour 1) :

Pendant cette première visite (semaine -1), nous vérifierons votre éligibilité à participer par un examen médical, après avoir signé un consentement éclairé relatif à ce pre-screening. Si vous acceptez de participer à l'étude et répondez à toutes les conditions requises pour être enrôlé dans l'étude, vous signerez un second formulaire de consentement éclairé relatif à l'étude. Puis, vous serez inclus dans le groupe d'entraînement en altitude (hypoxique) ou dans le groupe d'entraînement au niveau de la mer (normoxique).

Une fois inclus dans l'étude, vous passerez les tests et les mesures décrits ci-dessous :

- Un prélèvement de sang (5ml) au niveau du pli du coude permettra de mesurer les paramètres suivants : concentrations en hémoglobine et estrogènes ainsi que l'hématocrite
- Mesures du poids et de la taille avec une balance et une toise.
- Analyse de la composition corporelle par DEXA et mesure des plis cutanés.

Visite 2, ~2.5h (Pré-test jour 2) :

Lors de cette visite (semaine -1), les tests et mesures suivants seront réalisés :

- Test d'effort progressivement croissant jusqu'à épuisement sur cycloergomètre pour évaluer la capacité aérobie et la consommation maximale en oxygène (VO_2max). La consommation en oxygène, la production de dioxyde de carbone, et la fréquence cardiaque seront mesurées tout au long du test. Le RPE et le EVA seront également enregistrés à la fin du test.
- Une heure plus tard, la masse de l'hémoglobine sera mesurée après inhalation de monoxyde de carbone (CO).

Visite 3, ~2.5h (Pré-test jour 3) :

Lors du 3ème visite (semaine -1), les tests et mesures suivants seront réalisés :

- Un test de capacité de sprints répétés (RSA) au cours duquel le nombre de sprints, sera enregistré. Lors du test, l'oxygénation musculaire sera également mesurée par la méthode de spectroscopie proche de l'infrarouge (NIRS), en plaçant un capteur sur la cuisse.
- Une heure plus tard, un test Wingate de 30 secondes sur cycloergomètre, qui consiste en un sprint de 30 secondes au total.
- Des prélèvements de sang (5ul) au niveau du lobe de l'oreille avant chaque test, immédiatement après et 2, 4 et 6 minutes après les tests, pour mesurer la concentration en lactate.
- Pendant les tests RSA et Wingate, nous enregistrerons la fréquence cardiaque, la puissance maximale et moyenne et la fréquence de pédalage. Après chaque test, les participants seront invités à rapporter leur RPE et VAS.

Visites 4-17 (Entraînement en sprints répétés) :

De la semaine 1 à la semaine 7 (visites 4-17), soit un total de 14 séances à raison de 2x/semaine, vous suivrez un programme d'entraînement en sprints répétés sur cycloergomètre, soit en normoxie, soit en hypoxie, correspondant à une altitude de 3000m. Tous les entraînements seront réalisés au laboratoire de l'effort à la Faculté des sciences de la motricité à Louvain-la-Neuve. Chaque séance durera environ 40 minutes.

Au cours des séances d'entraînement en sprints répétés, nous enregistrerons :

- La puissance et la fréquence cardiaque pendant l'entraînement.
- Le taux d'effort perçu (RPE) avec une échelle de Borg
- Le niveau de douleur au niveau des jambes avec une échelle visuelle analogique (EVA)

Visites 18-20 (Post-tests) :

3 jours après le dernier entraînement, les post-tests commenceront (semaine 9). Celles-ci consistent en 3 visites qui seront exactement les mêmes que les visites 1-3 (sauf le pre-screening de la visite 1).

Risques et inconvénients

C : Contraception, grossesse et allaitement

Participant féminin : L'un des critères d'inclusion de cette étude est l'utilisation d'une pilule contraceptive monophasique. Par conséquent, il ne peut y avoir aucun risque lié à la grossesse et à l'allaitement maternel.

Participant masculin : Votre participation à cette étude n'entraîne aucun risque pour vous ou votre partenaire.

D : Risques liés aux procédures d'évaluation propres à l'étude

Lors des tests sur le vélo et les entraînements, il y a un risque extrêmement faible d'un incident cardiaque. Nous disposons de tout le matériel de réanimation nécessaire si un tel incident devait survenir. Il est aussi possible que vous ressentiez un manque d'air, un étourdissement, les jambes lourdes ou que vous soyez nauséux. Pour minimiser ce risque nous vous conseillerons de manger léger avant les tests et entraînements, et de ne pas venir à jeun. De plus, le risque de tomber du vélo est extrêmement faible. Nous veillerons à ce que le vélo soit bien sécurisé et nous vous montrerons comment monter et descendre du vélo.

Les prises de sang (environ 5ml de sang par prise, pour évaluer les niveaux d'hémoglobine, d'hématocrite et d'estrogènes) peuvent (rarement) être responsables de douleur, saignement, ecchymose ou infection localisée au site de prélèvement sanguin. De même

certain patients peuvent présenter un vertige, voire un évanouissement, lors de la procédure. Le personnel qui assurera le prélèvement fera le maximum pour réduire ces inconvénients par exemple en vous allongeant lors du prélèvement. De plus, il est possible que vous ressentiez une douleur s'apparentant à une légère piqûre lors de la prise de sang du lobe de l'oreille.

Notification d'informations nouvelles

Il se peut que pendant le déroulement d'une étude, de nouvelles informations importantes pour le déroulement de l'étude deviennent disponibles. Vous serez informé(e) de tout élément nouveau susceptible d'affecter votre décision de poursuivre votre participation à cette étude.

Dans ce cas, on vous demandera de signer soit un complément au formulaire de consentement, soit un nouveau document d'information et consentement. Si, à la lumière de la nouvelle information, vous décidez de mettre un terme à votre participation à l'étude, votre médecin investigateur veillera à ce que vous continuiez d'être traité(e) de la meilleure façon qui soit.

Bénéfices

Si vous décidez de participer à cette étude, l'entraînement de 7 semaines et les tests peuvent avoir des effets bénéfiques sur vos performances sportives, votre composition corporelle et votre condition physique.

De plus vous aurez accès aux résultats de ces différents tests réalisés dans le cadre de l'étude, qui peuvent être une information utile pour vous concernant votre niveau de performance et de forme physique.

Les résultats de cette étude peuvent contribuer à mieux comprendre les effets de l'entraînement physique chez les athlètes féminines et à l'élaboration de directives d'entraînement efficaces et spécifiques au sexe féminin.

Votre participation à cette étude n'engendrera aucun frais.

Retrait de l'étude

Votre participation est volontaire et vous avez le droit de vous retirer de l'étude pour quelque raison que ce soit, sans devoir vous justifier. Néanmoins, il peut être utile pour l'Investigateur Principal et pour le Promoteur de l'étude de savoir si vous vous retirez parce que les contraintes de l'étude sont trop importantes (trop d'effets secondaires désagréables par exemple).

Il y a lieu de distinguer « retrait de l'étude » et « retrait du consentement ».

Retrait de l'étude signifie simplement que vous cessez votre participation " pratique " parce que vous estimez les contraintes de l'étude trop importantes, les effets secondaires trop gênants, etc. Cela ne veut pas dire que vous retirez votre consentement à l'analyse des échantillons ou données déjà collectées.

Il est aussi possible que ce soit l'investigateur principal qui vous retire de l'étude parce qu'il pense que c'est le mieux pour votre santé ou qu'il constate que vous ne respectez pas les consignes données aux participants.

Retirer son consentement à l'étude signifie que non seulement vous cessez votre participation à l'étude, mais également que vous refusez tout suivi clinique ou utilisation ultérieur(e) de vos échantillons et données. En cas de retrait de consentement, vous avez le droit d'exiger la destruction des échantillons non encore utilisés en contactant l'Investigateur Principal ou le Promoteur. Cependant, les résultats obtenus à partir des échantillons analysés avant le retrait de consentement restent acquis au Promoteur de l'étude.

Enfin, il arrive parfois que les autorités compétentes nationales ou internationales, le Comité d'Ethique qui a initialement approuvé l'étude ou le Promoteur interrompent l'étude parce que les informations recueillies montrent l'inutilité de l'expérimentation.

Echantillons de matériel biologique collectés au cours de l'étude

Le promoteur de l'étude s'engage à ce que les échantillons soient utilisés exclusivement dans le contexte défini dans la rubrique « Déroulement de la recherche clinique » et ses annexes.

Les échantillons seront enregistrés dans la biobanque de l'UCLouvain (responsable : professeur Etienne Marbaix) selon l'arrêté royal du 09/01/2018.

Les progrès techniques dans ce domaine étant constants, si vous l'acceptez, nous souhaitons conserver le surplus de vos échantillons de matériel biologique pendant 5 années pour des études futures dans le contexte de la présente recherche clinique, soit une meilleure compréhension des effets de l'entraînement physique chez les athlètes féminines. Toute recherche en dehors du contexte décrit dans le présent document ne pourrait être menée qu'après approbation d'un Comité d'Ethique.

Si vous participez à cette étude clinique, nous vous demandons :

- De collaborer pleinement au bon déroulement de cette recherche.
- De ne masquer aucune information relative à votre état de santé, aux médicaments que vous prenez ou aux symptômes que vous ressentez.
- De ne participer à aucune autre recherche clinique concernant un traitement expérimental, qu'il s'agisse d'un médicament, d'un dispositif médical ou d'une procédure, tant que vous participerez à la présente étude.

Vous devez également savoir que :

- pour votre sécurité, il est souhaitable que votre médecin généraliste si vous en avez un ou d'autres médecins spécialistes en charge de votre santé soient informés de votre participation à cette étude. Nous vous demanderons de confirmer votre accord mais respecterons votre éventuelle volonté de ne pas les informer.

Contact

Si vous avez besoin d'informations complémentaires, mais aussi en cas de problème ou d'inquiétude, vous pouvez contacter l'Investigateur Principal, le Dr Sylvie Copine, au 0496/53 54 25 ou une collaboratrice à cette étude, à savoir Anna Piperi au 0496/84 82 02 ou le Prof Louise Deldicque au 0479/66 26 53.

Si vous avez des questions relatives à vos droits de participant à une étude clinique ou en cas de problème non résolu par l'investigateur, vous pouvez contacter le Comité d'Ethique Hospitalo-Facultaire des Cliniques universitaires Saint-Luc-UCLouvain, par mail (commission.ethique-saintluc@uclouvain.be) ou au numéro de téléphone suivant : 02/764 55 14.

En cas d'urgence, vous pouvez contacter Louise Deldicque au numéro de téléphone suivant 0479/66 26 53.

Selon le RGPD, vous disposez d'un droit de regard sur le traitement de vos données. Si vous avez des questions à ce sujet, vous pouvez contacter le responsable de la protection des données du centre d'étude à l'adresse suivante : privacy@uclouvain.be

En cas de plainte concernant le mode de traitement de vos données, vous pouvez contacter l'Autorité Belge de Protection des Données : Rue de la Presse 35 - 1000 Bruxelles - Tél. : 02 274 48 00 - e-mail : contact@apd-gba.be

Titre de l'étude :

Effets d'un entraînement de sprints répétés en hypoxie sur la performance sportive en normoxie chez les athlètes masculins et féminines

CHAPITRE II : Informations complémentaires

1 : Compléments d'informations sur l'organisation de l'étude

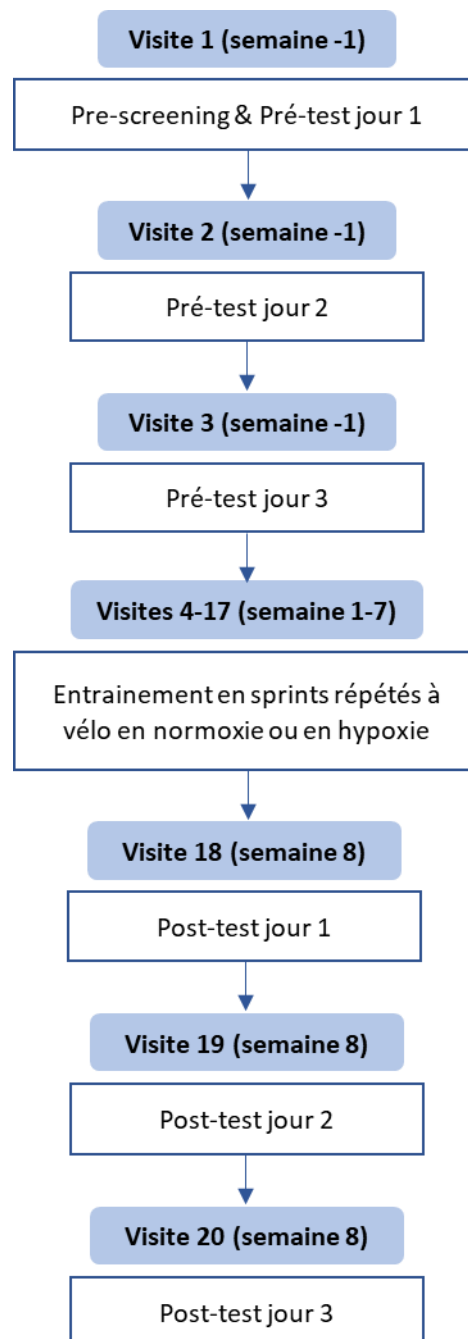


Figure 1 : Flow chart

Pré- et post-tests :

Vous effectuerez 6 sessions de tests, trois avant et trois après la période d'entraînement. Il vous sera demandé de remplir un carnet alimentaire (document complémentaire qu'on vous fournira) durant les trois jours précédant chaque séance de tests. Il vous sera également demandé de vous **abstenir de consommer de l'alcool et de la caféine 24 h avant les pré- et les post-tests, et de faire de l'exercice physique intense 48 h avant ces tests**. Il vous sera conseillé de consommer un repas standard avant les tests et de l'eau du robinet vous sera fournie pendant le test si vous le souhaitez. Au cours de chaque session, les tests et mesures mentionnés aux pages 4 et 5 seront effectués dans le même ordre pour les pré-tests et les post-tests.

Notez que les participantes féminines ne doivent pas effectuer les tests durant la période de leurs menstruations. De plus, le jour du post-test doit correspondre au jour du pré-test au niveau du cycle menstruel.

Entraînement de sprint répété (semaine 1-7) :

Vous suivrez un entraînement de sprint répété en normoxie ou en hypoxie, 2x/semaine. Les séances d'entraînement consisteront en 3 séries de sprints répétés pendant les semaines 1-6 et 2 séries pendant la semaine 7 de 5 x 10 s (cela signifie que vous pédalerez aussi vite que possible pour chaque sprint de 10 s, avec un repos de 20 s entre les sprints). Pendant l'entraînement, nous vous fournirons de l'eau. Après chaque séance d'entraînement, vous rapporterez votre taux d'effort perçu (RPE) et le niveau de douleur dans les jambes (échelle visuelle analogique, EVA). Au moins une journée de repos sera prévue entre les deux séances hebdomadaires pour assurer une récupération optimale. Durant l'entraînement de 7 semaines, il vous sera demandé de maintenir votre entraînement habituel (hors du laboratoire) et de remplir un carnet d'entraînement reprenant toutes vos séances d'exercice physique.

2 : Complément d'informations sur la protection et les droits du participant à une étude clinique

Comité d'Ethique

Cette étude a été évaluée par un Comité d'Ethique indépendant, à savoir le Comité d'Ethique Hospitalo-Facultaire des Cliniques universitaires Saint-Luc – UCLouvain, qui a émis un avis favorable. Les Comités d'Ethique ont pour tâche de protéger les personnes qui participent à une expérience. Ils s'assurent que vos droits en tant que patient et en tant que participant à une étude sont respectés, qu'au vu des connaissances actuelles, la balance entre risques et bénéfices reste favorable aux participants, que l'étude est scientifiquement pertinente et éthique. En aucun cas vous ne devez prendre l'avis favorable du Comité d'Ethique comme une incitation à participer à cette étude.

Participation volontaire

Avant de signer, n'hésitez pas à poser toutes les questions que vous jugez utiles. Prenez le temps d'en parler à une personne de confiance si vous le souhaitez.

Votre participation à l'étude est volontaire et doit rester libre de toute contrainte : ceci signifie que vous avez le droit de ne pas y participer ou de vous retirer sans justification même si vous aviez accepté préalablement d'y participer. Votre décision ne modifiera en rien vos relations avec l'Investigateur Principal.

Toutefois, il est conseillé pour votre sécurité, de prévenir l'Investigateur Principal si vous avez décidé d'arrêter votre participation à l'étude.

Si vous acceptez d'y participer, vous signerez le formulaire de consentement éclairé. L'Investigateur Principal signera également ce formulaire et confirmera ainsi qu'il vous a fourni les informations nécessaires sur l'étude. Vous recevrez l'exemplaire qui vous est destiné.

Coûts associés à votre participation

Toutes les procédures nécessaires à l'étude sont à la charge du promoteur.

Si vous décidez de participer à cette étude, cela n'entraînera donc pas de frais supplémentaires pour vous ou votre assureur. Les visites et démarches nécessaires à l'étude seront à la charge du promoteur.

Aucune compensation financière directe n'a été prévue pour la participation à cette étude. Cependant, vous bénéficierez des résultats des tests de $VO_2\text{max}$ et de Wingate. Ces tests ont une valeur de $150\text{€} \times 2$ (pré & post entraînement) = 300€. A cela s'ajoutent les données recueillies concernant votre composition corporelle et mesures anthropométriques dont le coût s'élève à $25\text{€} \times 2$ (pré & post entraînement) = 50€. Enfin, les séances d'entraînement en normoxie ou en hypoxie seront encadrées par des masters en éducation physique ayant une expérience spécifique en préparation physique. Habituellement, le coût d'une séance d'1h s'élève à 15€ par personne $\times$ 12 séances = 450€. Bien qu'aucune rémunération en cash n'ait été prévue pour cette expérience, votre participation correspond à une compensation en nature d'une valeur de 800€.

Garantie de confidentialité

Votre participation à l'étude signifie que vous acceptez que l'investigateur recueille des données vous concernant et que le promoteur de l'étude les utilise dans un objectif de recherche et dans le cadre de publications scientifiques et médicales.

Vos données seront traitées conformément au Règlement Général sur la Protection des Données (RGPD du 25 mai 2018) et à la législation belge du 22 août 2002 relative à la protection de la vie privée à l'égard des traitements de données à caractère personnel. L'UCLouvain sera responsable du traitement de vos données.

Vous avez le droit de demander à l'Investigateur Principal quelles sont les données collectées à votre sujet et quelle est leur utilité dans le cadre de l'étude. Ces données concernent les résultats des tests et mesures requis par le protocole. Vous disposez d'un droit de regard sur ces données et le droit d'y apporter des rectifications au cas où elles seraient incorrectes.

L'Investigateur Principal a un devoir de confidentialité vis à vis des données collectées.

Ceci veut dire qu'il s'engage non seulement à ne jamais divulguer votre nom dans le cadre d'une publication ou d'une conférence mais aussi qu'il codera (que votre identité sera remplacée par un code d'identification dans l'étude) vos données avant de les transmettre au gestionnaire de la base des données collectées (Prof Louise Deldicque).

L'Investigateur et son équipe seront donc les seuls à pouvoir faire le lien entre les données transmises pendant toute la durée de l'étude et votre dossier médical.

Les données personnelles transmises ne contiendront pas d'association d'éléments qui permettraient de vous identifier.

Pour le gestionnaire des données de recherche désigné par le promoteur, les données transmises ne permettent pas de vous identifier. Ce dernier est responsable de la collecte des données recueillies par tous les investigateurs participant à la recherche, de leur traitement et de leur protection en conformité avec les impératifs de la loi belge relative à la protection de la vie privée.

Les données de recherche (codées) pourront être transmises aux autorités réglementaires belges ou autres, aux comités d'éthique concernés, à d'autres médecins et/ou à des organismes travaillant en collaboration avec le promoteur.

Votre consentement à participer à cette étude implique donc aussi votre consentement à l'utilisation de vos données médicales codées aux fins décrites dans ce document d'information et à leur transmission aux personnes et instances susmentionnées.

Le promoteur s'engage à utiliser les données collectées uniquement dans le cadre de l'étude à laquelle vous participez. Toute utilisation de vos données en dehors du contexte décrit dans le présent document ne pourrait être menée qu'après approbation du comité d'éthique.

Si vous retirez votre consentement à participer à l'étude, afin de garantir la validité de la recherche, les données codées jusqu'au moment de votre interruption seront conservées. Aucune nouvelle donnée ne pourra être transmise au promoteur.

Vos données codées seront conservées pendant au moins 25 ans pour assurer la validité de la recherche. Ce sera également le cas si vous mettez prématurément fin à votre participation à l'étude.

Pour toute question relative à la protection de vos données personnelles, merci de contacter privacy@uclouvain.be

Enfin, si vous avez une plainte quant au traitement de vos données, vous pouvez contacter l'autorité de contrôle belge chargée de veiller au respect des principes fondamentaux de la protection des données à caractère personnel :

L'autorité de contrôle belge s'appelle :
L'Autorité de protection des données (APD)
Rue de la presse 35,
1000 Bruxelles
Tel. +32 2 274 48 00
e-mail: contact@apd-gba.be
Site web: <https://www.autoriteprotectiondonnees.be>

Avenir de vos échantillons collectés au cours de l'étude

La procédure de codage des échantillons est la même que celle appliquées pour vos données médicales. Les échantillons transmis au promoteur porteront donc uniquement votre code d'identification dans l'étude.

Les échantillons seront conservés dans la biobanque de l'UCLouvain selon l'arrêté royal du 09/01/2018.

Le gestionnaire de ces échantillons (Etienne Marbaix, avenue Mounier N° 50 à 1200 Woluwe-Saint-Lambert, UCLouvain) s'engage à leur utilisation dans le cadre de la recherche clinique et à leur destruction à la fin de la période prévue de conservation, à savoir 5 ans après le prélèvement.

L'échantillon de matériel biologique prélevé est considéré comme un « don » et vous devez savoir que, par principe, vous ne percevrez aucun bénéfice financier (royalties) lié au développement de nouvelles thérapies, dérivées de l'utilisation de votre don de matériel biologique, qui pourraient avoir une valeur commerciale.

Si vous retirez votre consentement à participer à l'étude, vous pouvez en contactant l'investigateur principal, faire détruire la partie encore non utilisée de vos échantillons ou demander que ceux-ci soient renvoyés. Les résultats obtenus à partir de vos échantillons et avant le retrait de votre consentement restent acquis au promoteur de l'étude.

Assurance

Toute participation à une étude comprend un risque aussi petit soit-il. Le promoteur assume, même en l'absence de faute, la responsabilité du dommage causé au participant (ou en cas de décès, à ses ayants-droit) et lié de manière directe ou indirecte à sa participation à la recherche. Le promoteur a souscrit un contrat d'assurance de cette responsabilité. L'assurance est de type « sans faute ».

Vous êtes donc invité à faire part de tout problème de santé nouveau à l'investigateur principal. Il pourra vous donner des informations complémentaires concernant les traitements possibles. Si l'investigateur principal estime qu'un lien avec l'étude est possible, il se chargera d'informer le promoteur de l'étude qui se chargera d'initier la procédure de déclaration à l'assurance. Celle-ci nommera - si elle l'estime nécessaire - un expert pour juger du lien entre vos nouveaux problèmes de santé et l'étude.

En cas de désaccord soit avec l'Investigateur Principal, soit avec l'expert nommé par la compagnie d'assurances ainsi que chaque fois que vous l'estimeriez utile, vous ou - en cas de décès - vos ayants droit pouvez assigner l'assureur directement en Belgique (Ethias, Rue des Croisiers 24, 4000 Liège; www.ethias.be; Tel: 04/220.31.11; Fax: 04/249.64.80; n° police assurance: 45.399.955, assurance sans faute).

La loi prévoit que la citation de l'assureur puisse se faire soit devant le juge du lieu où s'est produit le fait générateur du dommage, soit devant le juge de votre domicile, soit devant le juge du siège de l'assureur.

Titre de l'étude :

Effets d'un entraînement de sprints répétés en hypoxie sur la performance sportive en normoxie chez les athlètes masculins et féminines

CHAPITRE III : Consentement éclairé

PARTICIPANT(E)

CONDITIONS PRÉALABLES À VOTRE PARTICIPATION À L'ÉTUDE

- Je déclare que j'ai été informé sur la nature de l'étude, son but, sa durée, les éventuels bénéfices et risques, mes droits en tant que participant, et ce que l'on attend de moi. J'ai pris connaissance du document d'information et des annexes à ce document.
- J'ai eu suffisamment de temps pour y réfléchir et en parler avec une personne de mon choix comme mon médecin généraliste ou un membre de ma famille.
- J'ai eu l'occasion de poser toutes les questions qui me sont venues à l'esprit et j'ai obtenu une réponse satisfaisante à mes questions.
- J'ai compris que ma participation à cette étude est volontaire et que je suis libre de mettre fin à ma participation à cette étude.
- J'ai compris que des données me concernant seront récoltées pendant toute ma participation à cette étude et que l'investigateur et le promoteur de l'étude se portent garant de la confidentialité de ces données conformément à la législation européenne et belge d'application.
- Je consens au traitement de mes données personnelles selon les modalités décrites dans la rubrique traitant de garanties de confidentialité (page 10).
- Je comprends que le promoteur a souscrit une assurance au cas où je subirais des dommages en rapport avec ma participation à cette étude.
- Je comprends qu'en participant à cette étude, je n'encourrai aucun frais lié à l'étude.
- J'accepte de ne pas participer simultanément à une autre étude clinique sans en avoir informé l'investigateur ou le personnel de l'étude, qui pourrait alors refuser ma participation pour une raison motivée.
- **Je comprends que je dois coopérer et suivre les instructions de l'investigateur et du personnel de l'étude concernant l'étude ; assister à toutes les visites et être à l'heure ; remplir correctement les documents demandés (carnet d'activité physique, carnet alimentaire, etc.).**
- **J'accepte de continuer à assister à mes entraînements/matches avec mon club/équipe de sport (minimum 3h/semaine) et je ne diminuerai pas mes heures d'entraînement pendant la participation à cette étude, car cela pourrait modifier les résultats.**

- Je comprends qu'il peut être mis fin à ma participation à l'étude sans mon consentement si je ne suis pas le plan de l'étude, si je subis un dommage en lien avec ma participation à l'étude ou pour toute autre raison justifiée.
- J'ai conscience que les résultats de l'analyse des échantillons biologiques anonymisés et des échantillons résiduels potentiels ne seront pas disponibles pour moi.
- Je certifie que tous les renseignements que j'ai fournis au sujet de mes antécédents médicaux sont exacts. Je comprends que le fait de ne pas informer l'investigateur ou son représentant d'un critère d'exclusion peut me nuire.
- Je sais que cette expérimentation a été soumise et approuvée par le Comité d'Ethique Hospitalo-Facultaire des Cliniques universitaires Saint-Luc - UCLouvain.

- En signant ce document, j'autorise l'utilisation des données me concernant dans le respect de
 - la loi belge du 30 juillet 2018 relative à la protection de la vie privée ;
 - la loi du 22 août 2002 relative aux droits du patient ;
 - la loi du 7 mai 2004 relative à l'expérimentation sur la personne humaine ;
 - les réglementations européennes (règlementation générale européenne sur la protection des données à caractère personnel [RGPD] du 25 mai 2018) et belges en vigueur.
- Je n'ai subi aucune pression physique ni psychologique induite pour ma participation à l'expérimentation.

CONSETEMENTS FACULTATIFS QUI NE CONSTITUE PAS UNE CONDITION PRÉALABLE À VOTRE PARTICIPATION À CETTE ÉTUDE.

1. Comme indiqué à page 10, le promoteur souhaite pouvoir utiliser vos données issues de cette étude dans le cadre d'autres activités de recherche et développement (et des publications scientifiques associées) à condition que ces objectifs de recherche aient été approuvés par un comité d'éthique belge agréé.

Êtes-vous d'accord avec l'utilisation de vos données obtenues dans le cadre de cette étude à d'autres fins de recherche ?

(Cochez la case appropriée. Si vous laissez cette question ouverte, nous supposons que votre réponse est « Je ne suis pas d'accord ».)

☐ Je suis d'accord	☐ Je ne suis pas d'accord
---	--

2. Comme indiqué page 6, le promoteur souhaite conserver vos échantillons biologiques résiduels pendant 5 ans pour des recherches futures dans le contexte de la présente recherche clinique, soit une meilleure compréhension des effets de l'entraînement physique sur les femmes et de concevoir des directives d'entraînement efficaces et spécifiques au genre

Êtes-vous d'accord pour que vos échantillons biologiques résiduels soient conservés pour des recherches futures autres que l'étude à laquelle vous participez ?

(Cochez la case appropriée, si vous laissez cette question ouverte, nous supposerons que votre réponse est « Je ne suis pas d'accord ».)

☐ Je suis d'accord	☐ Je ne suis pas d'accord
---	--

3. Êtes-vous d'accord avec l'anonymisation de vos échantillons telle qu'elle est décrite page 10 ?

(Cochez la case appropriée, si vous laissez cette question ouverte, nous supposerons que votre réponse est « Je ne suis pas d'accord ».)

☐ Je suis d'accord	☐ Je ne suis pas d'accord
---	--

Je consens à participer à l'étude, avec les restrictions ci-dessus, et j'ai reçu une copie signée et datée de toutes les pages du présent document.

Nom et prénom du participant :

Date (JJ/MMM/AAAA) :

Signature du participant :

INVESTIGATEUR

Je, soussigné, l'investigateur, confirme que

- le participant a reçu verbalement les informations nécessaires au sujet de l'étude, a reçu des explications sur le contenu de l'étude et a reçu un original signé du présent document.
- J'ai vérifié si le participant a compris l'étude.
- J'ai laissé suffisamment de temps au participant pour décider de participer ou pas à l'étude et poser ses questions.
- Aucune pression n'a été exercée pour que le participant accepte de participer à l'étude.
- Je travaille en accord avec les principes éthiques énoncés dans la dernière version de la « Déclaration d'Helsinki », des « Bonnes pratiques Cliniques » et de la loi belge du 7 mai 2004, relative aux expérimentations sur la personne humaine.

Nom et prénom de l'investigateur : Dr Sylvie Copine

Date (JJ/MMM/AAAA) :

Signature de l'investigateur :

Annexe 4 : Carnet d'activité physique

Carnet d'activité physique

Comment remplir ce carnet ? :

- 1) Au cours de la semaine 1 à 7 de cette étude, à savoir les semaines d'entraînement de sprints répétés, il vous sera demandé de remplir ce carnet d'activité physique tel que présenté dans l'exemple ci-dessous.
- 2) Dans ce carnet, vous devez noter toute activité physique effectuée en dehors du laboratoire.
- 3) Pour ne rien oublier, il vous est demandé de noter l'activité physique dès celle-ci terminée.

Exemple:

Semaine 1, 20/05/2022-26/05/2022

Jour	Type d'activité physique	Durée	Heure
vendredi	Entraînement de basket-ball (technique)	1h30	16 :00-17 :30 h
samedi	Course à pied (endurance)	1h	18 :00-19 :00
dimanche	Repos	-	-
lundi	Renforcement musculaire	1h	15 :00-16 :00
mardi	Entraînement de basket-ball (technique)	1h30	16 :00-17 :30 h
mercredi	Yoga Marche (déplacement à pied)	1h 30min	9 :00-10 :00 10 :30-11 :00
jeudi	Entraînement de basket-ball (match)	1h30	19 :00-20 :30

Annexe 5 : Carnet alimentaire

Carnet alimentaire

A compléter pendant la période :

3e jour avant le Pré-test jour 1 – Pré-test jour 3 (au totale 7 jours), c'est-à-dire :

Jour 1 : **21/04/2023**

Jour 2 : **22/04/2023**

Jour 3 : **23/04/2023**

Pre-test Jour 1 : **24/04/2023**

Pre-test Jour 2 : **25/04/2023**

Jour entre le pré-test jour 2 et le pré-test jour 3 : **26/04/2023**

Pre-test Jour 3 : **27/04/2023**

3e jour avant le Post-test jour 1 – Post-test jour 3 (au totale 7 jours), c'est-à-dire :

Jour 1 : **16/06/2023**

Jour 2 : **17/06/2023**

Jour 3 : **18/06/2023**

Pre-test Jour 1 : **19/06/2023**

Pre-test Jour 2 : **20/06/2023**

Jour entre le pré-test jour 2 et le pré-test jour 3 : **21/06/2023**

Pre-test Jour 3 : **22/06/2023**

Comment remplir ce carnet ? :

1. Ce carnet doit être rempli les 3 jours avant le pré/post-test jour 1, le pré/post-test jour 1, le pré/post-test jour 2, le lendemain, et le pré/post-test jour 3.
2. Pour ne rien oublier, il vous est demandé de noter directement ce que vous avez mangé ou bu (dans la mesure du possible) tout au long de la journée.
3. Les repas consommés à l'extérieur sont également à détailler le mieux possible.

***Pour les post-tests, veuillez essayer de suivre un régime similaire à celui que vous avez suivi pour les pré-tests.**

Un exemple pour remplir le carnet

	Aliments	Quantité g ou ml
Dans la matinée	<u>Une gaufre au chocolat de chez Aldi</u>	
	<u>Jus de pomme Minute Maid</u>	
	<u>Une cannette d'Ice Tea pêche</u>	<u>330 ml</u>
A diner	<u>¼ de baguette multi-céréales</u>	
	<u>1 boîte de conserve Carrefour thon naturel égoutté</u>	
	<u>Matière grasse ajoutée : Mayonnaise Carrefour au citron</u>	<u>15g</u>
	<u>+ 1 cuillère à café d'huile d'olive</u>	<u>5g</u>
	<u>Lait : 1 cécémel demi-écrémé</u>	<u>250ml</u>
Dans l' après-midi	<u>1 tartine de pain gris</u>	<u>30g</u>
	<u>4 noix de cajou</u>	
	<u>Matière grasse : 1 cuillère à café de margarine Planta</u>	<u>5g</u>

Annexe 6 : Carnet cycle menstruel

Carnet du cycle menstruel

Prénom, Nom:

Contraception: Non ☐ Oui ☐ Si oui, lequel :

Veuillez marquer avec une croix les jours de vos règles (avant le début de l'étude et pendant la période de l'étude):

MARS 2023

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
		1	2	3	4	5
6	7	8	9	10	11	12
13	14	15	16	17	18	19
20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31		

AVRIL 2023

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
					1	2
3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16
17	18	19	20	21	22	23
24	25	26	27	28	29	30

MAI 2023

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21

JUIN 2023

Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche
			1	2	3	4
5	6	7	8	9	10	11
12	13	14	15	16	17	18
19	20	21	22	23	24	25
26	27	28	29	30		

Résumé du mémoire :

Cette étude vise à explorer les différences entre les athlètes masculins et féminins quant à l'effet de l'entraînement répété de sprints en hypoxie (RSH) sur la performance de sprints en normoxie. Alors que la participation des femmes dans les sports augmente, les recherches sur les entraînements spécifiques à leur sexe restent limitées. Nous mettons en place un essai contrôlé randomisé et aveugle, recrutant 41 volontaires pour des séances d'entraînement de 7 semaines de sprints répétés en hypoxie (12 hommes, 10 femmes) ou en normoxie (11 hommes, 8 femmes), avec des tests de performance avant et après en normoxie. Les résultats révèlent que l'entraînement de sprints répétés a entraîné une augmentation du nombre de sprints chez les hommes en hypoxie (+10), chez les femmes en hypoxie (+6) et chez les femmes en normoxie (+3). Aussi, il y avait une augmentation du TSI pendant la récupération dans les 4 groupes entre le pré et post-test (homme normoxie : +4%, homme hypoxie : +2%, femme normoxie : +10% et femme hypoxie : +8%). De plus, l'entraînement, qu'il soit en hypoxie ou en normoxie, a amélioré significativement la puissance moyenne (homme normoxie : +28W, homme hypoxie : +30W, femme normoxie : +21W et femme hypoxie : +15W). Pour conclure, un entraînement de sprints répétés en hypoxie pourrait être efficace pour améliorer les performances de sprints répétés en normoxie chez les hommes et les femmes également.