

Département des sciences de la Motricité

Kinésithérapie



**Influence du HIIT et MICT sur l'amélioration de la VO<sub>2</sub>max chez  
l'athlète d'endurance**

**Promoteurs**

Caroline KINET, *Master en Sciences*

Arnaud DOLIMONT, *Master en Sciences*

**Mémoire présenté par**

Thomas VANHALST

pour l'obtention du Master en kinésithérapie

**Directeur**

Constantino BALESTRA, *Professeur et*

*Docteur en kinésithérapie et réadaptation Ph.D.*

Année académique 2023-2024



## Remerciements

(.....)

## Table des matières

<b>1. Introduction</b> .....	<b>3</b>
<b>2. Connaissance actuelle du sujet</b> .....	<b>5</b>
<b>3. Méthodologie de la revue systématique</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Stratégie de recherche</b> .....	<b>11</b>
<b>3.2 Sélection des études</b> .....	<b>12</b>
<b>3.3 Extraction et analyse des données</b> .....	<b>13</b>
<b>3.4 Évaluation de la qualité méthodologique</b> .....	<b>13</b>
<b>3.5 Analyse des biais</b> .....	<b>14</b>
<b>4. Résultats</b> .....	<b>15</b>
<b>4.1 Résultats statistiques de la méta-analyse</b> .....	<b>15</b>
4.1.1 Forest Plot .....	16
4.1.2 Calcul de la taille de l'effet du HIIT et MICT .....	16
4.1.3 Analyse de l'hétérogénéité des études .....	17
<b>4.2 Analyse de la qualité des articles</b> .....	<b>17</b>
<b>4.3 Tableau des résultats</b> .....	<b>19</b>
<b>4.4 Diagramme de filtrage des études</b> .....	<b>22</b>
<b>4.5 Analyse des biais méthodologiques des études</b> .....	<b>22</b>
<b>5. Discussion</b> .....	<b>24</b>
<b>6. Conclusion</b> .....	<b>27</b>
<b>7. Bibliographie</b> .....	<b>28</b>
<b>8. Annexes</b> .....	<b>31</b>
<b>9. Résumé</b> .....	<b>38</b>

# 1. Introduction

L'entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT-High Intensity Interval Training) et l'entraînement continu à intensité modérée (MICT-Moderate Intensity Continuous Training) sont deux méthodes d'entraînement bien établies dans le domaine des sports d'endurance. Ces méthodes améliorent les capacités aérobies et anaérobies des athlètes, avec un accent particulier sur l'optimisation du seuil anaérobie et de la consommation maximale d'oxygène ( $VO_2\text{max}$ ), deux indicateurs clés de la performance d'endurance (MacInnis & Gibala, 2017).

Le HIIT, est une méthode d'exercice qui alterne entre des périodes d'activité intense et des temps de repos ou d'activité légère. Cette approche vise à maximiser la combustion des calories tout en améliorant la condition cardiovasculaire et la force musculaire (Gibala et al., 2012). Le HIIT est efficace pour améliorer l'endurance et la composition corporelle en un temps d'entraînement réduit, ce qui le rend populaire pour ceux qui cherchent à obtenir des résultats rapides (Boutcher, 2011).

En revanche, le MICT est traditionnellement utilisé pour développer une base solide d'endurance aérobie par le biais d'efforts prolongés à intensité modérée. Ce type d'entraînement favorise l'efficacité du système cardiovasculaire et améliore la capacité du corps à utiliser les graisses comme source d'énergie, un facteur essentiel pour les performances d'endurance sur de longues durées. Le MICT est souvent préféré pour sa capacité à entraîner des adaptations durables avec un risque moindre de surentraînement ou de blessures par rapport au HIIT (Milanović et al., 2015).

Malgré l'efficacité reconnue de ces deux méthodes, la question de savoir laquelle est la plus bénéfique pour l'amélioration du seuil anaérobie et de la  $VO_2\text{max}$  reste débattue dans la littérature scientifique. Certaines études suggèrent que le HIIT peut induire des améliorations plus rapides et plus importantes en  $VO_2\text{max}$  que le MICT, en particulier chez les athlètes hautement entraînés (Milanović et al., 2015). D'autres, cependant, soulignent les avantages du MICT en termes de durabilité des adaptations et de réduction des risques associés à l'entraînement à haute intensité (Weston et al., 2014).

L'objectif de cette revue systématique est d'analyser de manière rigoureuse les études comparatives existantes pour déterminer les effets spécifiques du HIIT et du MICT sur la  $VO_2$ max chez les athlètes d'endurance. Une attention particulière sera portée à la qualité méthodologique des études incluses, afin de garantir que les conclusions tirées soient basées sur des preuves solides.

## 2. Connaissance actuelle du sujet

L'entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) a émergé comme une méthode d'entraînement populaire dans les années 1990, lorsqu'il est apparu que des efforts courts mais intenses pouvaient offrir des avantages comparables, voire supérieurs, à ceux de l'entraînement continu à intensité modérée (MICT). Le HIIT se distingue par ses périodes d'exercices intenses suivies de périodes de récupération, permettant aux athlètes de maintenir des niveaux d'efforts élevés sur une durée plus courte. Cette méthode s'est rapidement répandue dans divers sports spécifiques à l'endurance comme la moyenne et longue distance en course à pied, le cyclisme, le triathlon, la natation, le ski, l'aviron ou encore le kayak/canoë. Cependant, un certain niveau d'endurance est également nécessaire pour une variété d'autres sports, comme les sports d'équipe tels que le football, le rugby, le hockey, le waterpolo, les sports de raquettes comme le tennis, le badminton, le squash et les sports de combats tel que les différents arts martiaux, la boxe.

Le MICT, quant à lui, est basé sur des périodes prolongées d'exercices à une intensité modérée. Ce type d'entraînement a longtemps été la norme pour développer l'endurance aérobie, en particulier chez les athlètes d'endurance. En effet, cette méthode favorise l'amélioration des systèmes cardiovasculaire et respiratoire, augmentant ainsi la capacité du corps à transporter et utiliser l'oxygène de manière efficace.

Des études pionnières, comme celle de Gibala et al. (2006), ont montré que le HIIT pouvait induire des améliorations similaires à celles du MICT en termes de  $VO_2\text{max}$  et de performance d'endurance, mais avec un volume d'entraînement globalement réduit. Ces découvertes ont suscité un intérêt croissant pour le HIIT, notamment chez les athlètes élités et les entraîneurs cherchant à maximiser l'efficacité de l'entraînement.

La  $VO_2\text{max}$ , représentant la capacité maximale du corps à consommer de l'oxygène pendant l'exercice, est un indicateur clé de la performance aérobie. Burgomaster et al. (2008) ont montré que des séances courtes mais intenses de HIIT pouvaient entraîner une augmentation significative de la  $VO_2\text{max}$  chez des athlètes

bien entraînés, alors que les améliorations apportées par le MICT, bien que positives, étaient plus modérées. Cette supériorité du HIIT peut être attribuée à l'intensité des exercices, qui stimule de manière plus efficace les adaptations cardiorespiratoires et mitochondriales nécessaires à une meilleure consommation d'oxygène.

Le seuil anaérobie (Wasserman, K., & McIlroy, M. B. 1964), défini comme le point au-delà duquel le corps commence à produire du lactate plus rapidement qu'il ne peut l'éliminer, est un autre indicateur crucial pour les athlètes d'endurance. Améliorer ce seuil permet aux athlètes de maintenir des efforts soutenus à des intensités plus élevées sans accumuler rapidement de la fatigue. Les études indiquent que le HIIT peut non seulement améliorer la  $VO_2\text{max}$ , mais aussi élever le seuil anaérobie, permettant aux athlètes de tolérer et de performer à des niveaux d'efforts plus élevés avant que la production de lactate ne devienne problématique.

Les adaptations physiologiques liées à l'entraînement de haute intensité sont fortement influencées par la production et l'utilisation du lactate. Contrairement à la croyance populaire, le lactate n'est pas simplement un déchet causant la fatigue musculaire, mais il joue un rôle essentiel en tant que source d'énergie alternative dans le cycle de Cori et en tant que signal moléculaire pour l'adaptation à l'effort. Lors d'exercices de haute intensité, la production de lactate augmente avec l'intensité de l'effort. Ce lactate est ensuite utilisé par divers tissus, notamment le cœur, le cerveau et les muscles, comme une source d'énergie supplémentaire.

L'entraînement par intervalles favorise des adaptations bénéfiques, telles que l'augmentation des transporteurs de lactate et l'amélioration de la capacité oxydative des mitochondries. En métabolisme, le lactate sert de précurseur à la néoglucogenèse dans le foie, où il est converti en glucose pour fournir de l'énergie. De plus, le lactate agit comme une molécule de signal, stimulant la production de dérivés réactifs de l'oxygène et l'activation de PGC-1 $\alpha$ , un co-activateur clé pour l'adaptation physiologique à l'effort.

L'entraînement en HIIT sollicite principalement les systèmes énergétiques anaérobie alactique et anaérobie lactique, ainsi que le système aérobie pendant les phases de récupération, ce qui prolonge la dépense calorique après l'effort (EPOC= Excess Post-exercise Oxygen Consumption). Il améliore rapidement la  $VO_2\text{max}$ , la capacité cardiaque, et stimule les fibres musculaires de type II, augmentant leur

endurance et densité mitochondriale. L'entraînement optimise la sensibilité à l'insuline, favorise la perte de graisse viscérale et améliore les mécanismes de défense antioxydante à long terme. Enfin, il active le système nerveux sympathique, stimule la neurogenèse, et favorise la libération d'endorphines et de neurotransmetteurs.

En comparaison, le MICT, bien que moins intense que des séances de haute intensité comme le HIIT, permet également d'améliorer la  $VO_2\max$ , mais par des mécanismes physiologiques distincts. Cette méthode optimise principalement l'efficacité du métabolisme aérobie, augmentant la capacité du corps à maintenir des niveaux constants de lactate en dessous du premier seuil ventilatoire, ou seuil lactique, généralement situé autour de 2 mmol/l dans le sang.

Le MICT développe une base indispensable pour soutenir des efforts prolongés. Toutefois, elle ne sollicite pas les systèmes énergétiques à leurs limites comme le fait l'entraînement par intervalles à haute intensité. Ainsi, bien que le MICT soit moins exigeant en termes d'intensité, il joue un rôle crucial dans la construction d'une endurance fondamentale. Il stimule principalement le cycle de Krebs plutôt que le cycle de Cori, en préservant une stabilité métabolique bénéfique pour les performances à long terme.

L'entraînement en MICT sollicite principalement le système aérobie, favorisant l'utilisation des acides gras comme source d'énergie lors d'efforts modérés/prolongés et favorise également l'hypertrophie mitochondriale (Bishop et al., 2019). Il améliore progressivement la capacité cardiovasculaire et renforce l'endurance des fibres musculaires de type I (Granata et al., 2018). Bien qu'il améliore la sensibilité à l'insuline et la régulation du glucose, ces effets sont potentiellement moins marqués qu'avec le HIIT (Jelleyman et al., 2015). Ce type d'entraînement favorise une perte de graisse plus lente mais durable, génère moins de fatigue, permettant une récupération plus rapide après les séances, induit moins de stress oxydatif et d'inflammation (da Silva et al., 2020). Il active modérément le système nerveux sympathique et favorise l'équilibre avec le système parasympathique, contribuant ainsi à la relaxation et à la réduction du stress (Noble et al., 2021).

Le HIIT est particulièrement adapté aux sports qui exigent des efforts intenses et de courte durée, tels que le football, le hockey, le rugby... Il permet d'améliorer la

capacité des athlètes à maintenir des efforts maximaux à répétition (Weston et al., 2014; Milanović et al., 2015). En outre, le HIIT est efficace pour les athlètes disposant de peu de temps, car des séances courtes et intenses peuvent produire des adaptations physiologiques équivalentes ou supérieures à celles obtenues par des entraînements continus plus longs (MICT) (Gillen et al., 2016). De plus, le HIIT augmente le métabolisme de base, favorisant une combustion accrue des graisses même après l'exercice, ce qui est un avantage pour les athlètes cherchant à réduire leur pourcentage de masse grasse tout en améliorant leur condition physique (Keating et al., 2017).

Le HIIT présente certains inconvénients importants. En raison de l'intensité élevée des séances, il existe un risque accru de surentraînement et de blessures, particulièrement si les périodes de récupération sont insuffisantes. Les athlètes doivent être vigilants dans la gestion de la fatigue et rester attentifs aux signaux de leur corps pour éviter ces risques (Tjelta et al., 2016; Stoggl & Sperlich, 2015). De plus, le HIIT peut être psychologiquement exigeant, nécessitant une forte motivation pour maintenir des efforts maximaux. La répétition de séances intensives peut entraîner un épuisement mental, surtout chez les athlètes qui ne sont pas habitués à un tel niveau d'intensité (Mezzani et al., 2013; McNarry & Jones, 2014).

Le MICT présente plusieurs avantages clés. Il est particulièrement efficace pour développer l'endurance aérobie, constituant une méthode traditionnelle pour établir une base solide (Montero et al., 2015). En outre, le MICT est plus accessible et sécuritaire, surtout pour les athlètes débutants ou ceux qui reprennent l'entraînement après une pause, car il impose des contraintes physiologiques moindres par rapport au HIIT, permettant ainsi une progression plus douce et réduisant le risque de blessures (Milanović et al., 2016). Enfin, le MICT de par ses adaptations cardiovasculaires rend le corps plus économe pour un effort similaire (da Silva et al., 2019).

Le MICT présente certains inconvénients. Tout d'abord, son efficacité est moindre pour obtenir des gains rapides en performance. Comparé au HIIT, le MICT peut nécessiter des périodes d'entraînement plus longues pour atteindre des améliorations similaires en termes de  $VO_2\text{max}$ , ce qui peut être un désavantage pour les athlètes cherchant des progrès rapides (Milanović et al., 2015). De plus, le MICT offre moins de stimulations métaboliques après l'exercice. Bien qu'il soit efficace pour améliorer l'endurance aérobie, il ne génère pas le même effet de stimulation

métabolique post-exercice que le HIIT. L'effet de consommation excessive d'oxygène après l'exercice (EPOC) est moins prononcé après une séance de MICT, ce qui peut limiter les bénéfices en termes de gestion du poids et de composition corporelle (Keating et al., 2017).

Les études actuelles suggèrent qu'une approche polarisée entre le HIIT et le MICT, combinant des séances intenses de HIIT avec des périodes prolongées de MICT, offre des avantages significatifs pour améliorer la performance aérobie et anaérobie (Stoggl & Sperlich, 2015; Tjelta, 2016). Par exemple, pour un athlète se préparant à une compétition de longue distance comme un marathon, il est pertinent de focaliser l'entraînement sur le MICT pour construire une solide base d'endurance, tout en incorporant du HIIT pour améliorer la  $VO_2\text{max}$ , la capacité anaérobie et la tolérance à l'effort intense (Montero & Lundby, 2017).

Inversement, pour les sports à intervalles comme le football ou le hockey, où des efforts explosifs sont requis, le HIIT peut constituer l'essentiel de l'entraînement, avec le MICT utilisé pour maintenir la condition physique générale et faciliter la récupération active (Milanović et al., 2015). Il est crucial de planifier les séances de HIIT en tenant compte de la récupération, un élément essentiel pour éviter le surentraînement et maximiser les adaptations physiologiques (Weston et al., 2014). Les athlètes doivent être attentifs à leur niveau de fatigue et ajuster leur programme en conséquence, en respectant les principes de la périodisation pour équilibrer les charges d'entraînement. La période de l'année joue également un rôle dans l'intégration de ces méthodes. Durant la phase de présaison, un accent sur le MICT permet de développer une endurance de base sans imposer une charge excessive pouvant mener à une blessure et à un pic de forme trop tôt dans la saison. À l'approche des compétitions, le HIIT devient plus central pour maximiser les performances anaérobies (Scharhag-Rosenberger et al., 2010).

L'étude de Rosenblat et al, (2020), a démontré que pour favoriser le gain en  $VO_2\text{max}$  lors d'une séance HIIT, l'objectif est de maintenir un temps significatif au-dessus de 90 % de la  $VO_2\text{max}$ . Cela nécessite des intervalles suffisamment longs, idéalement de 2 minutes ou plus, pour permettre à la consommation d'oxygène d'atteindre son maximum. Les intervalles très courts à effort maximal, (20-45

secondes) avec des repos passifs prolongés sont efficaces pour stimuler les systèmes neuro-musculaires et l'anaérobie lactique, mais pour améliorer la  $VO_2\text{max}$ , les intervalles plus longs sont préférables.

Le choix de la récupération entre les intervalles est également important et peut jouer un rôle sur les adaptations physiologiques qui varient. Une récupération passive favorise la reconstitution rapide des stocks de phosphocréatine permettant des efforts courts plus intenses, tandis qu'une récupération active maintient une consommation d'oxygène élevée, prolongeant ainsi le temps passé au-dessus de 90 % de la  $VO_2\text{max}$  (Rosenblat et al., 2021).

Le MICT, en revanche, se concentre sur le développement de l'endurance aérobie à travers des séances prolongées à intensité modérée. Les séances de MICT sont généralement réalisées à une intensité située entre 60 % et 75 % de la  $VO_2\text{max}$  X (Montero & Lundby, 2017).

En conclusion, le HIIT est idéal pour les périodes où l'objectif est d'améliorer la puissance aérobie et anaérobie, en particulier lorsque le temps d'entraînement est limité ou lorsque des adaptations rapides sont nécessaires. En revanche, le MICT est essentiel pour construire une base d'endurance solide et durable, permettant aux athlètes de soutenir des efforts prolongés avec une efficacité énergétique optimale. Un programme d'entraînement peut inclure des séances de MICT pour développer l'endurance de base, avec des séances de HIIT pour améliorer la  $VO_2\text{max}$  et le seuil anaérobie. Cette approche équilibrée permet de développer à la fois l'endurance et la puissance, tout en minimisant les risques associés à un entraînement excessif ou déséquilibré (Laursen & Buchheit, 2018).

Ainsi, la planification des séances de HIIT et de MICT doit être personnalisée en fonction des objectifs spécifiques de l'athlète, de son niveau d'entraînement, et des exigences du sport pratiqué. Une compréhension approfondie des adaptations physiologiques induites par chaque méthode, permet de structurer des programmes d'entraînement qui optimisent la performance tout en assurant une progression durable.

## 3. Méthodologie de la revue systématique

### 3.1 Stratégie de recherche

La stratégie de recherche a été élaborée en utilisant l'approche PICO (Population, Intervention, Comparaison, Outcome) pour identifier les études pertinentes comparant les effets de l'entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) et de l'entraînement continu à intensité modérée (MICT) sur l'amélioration de la VO<sub>2</sub>max.

- Population : Athlètes ou individus actifs/très actifs.
- Intervention : Entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT).
- Comparaison : Entraînement continu à intensité modérée (MICT).
- Outcome : Amélioration de la VO<sub>2</sub>max.

Une équation de recherche spécifique a été formulée pour interroger la base de données PUBMED, visant à capturer l'ensemble des études pertinentes publiées entre le 1er janvier 2014 et le 31 décembre 2024. Les bases de données SPORTDiscuss et JOMH ont également été consultées dans le cadre de cette recherche.

Certaines études ont été exclues selon des critères stricts : celles impliquant des populations non-entraînées, "obèses" ou souffrant de maladies ont été écartées, tout comme les études datant de plus de 10 ans. Ces exclusions visaient à se concentrer sur les effets de ces méthodes d'entraînement sur des populations déjà entraînées, afin de minimiser le risque de blessures liées aux séances de HIIT chez des sujets non habitués à ce type d'effort. Les études plus anciennes ont été exclues pour garantir l'actualité des résultats, étant donné que les méthodes d'entraînement d'endurance continuent d'évoluer rapidement. De plus, les interventions de moins d'une semaine ont été exclues, car les adaptations physiologiques nécessitent un certain temps pour se manifester.

Voici la requête PubMed utilisée :

*((*"interval training"*[All Fields] OR *"high-intensity interval training"*[MeSH Terms] OR *"HIIT"*[All Fields]) AND(*"moderate intensity training"*[MeSH Terms] OR *"continuous training"*[All Fields]) AND (*"athletes"*[MeSH Terms] OR *"trained"*[All Fields]) AND (*"VO2max"*[All Fields] NOT *"untrained"*[AllFields] NOT *"obese"*[All Fields] NOT *"disease"*[All Fields] AND (*"2014/01/01"*[Date - Publication] : *"2024/12/31"*[Date- Publication])*

Les recherches ont été limitées aux études publiées en anglais et en français pour garantir la pertinence des résultats.

### 3.2 Sélection des études

Les résultats de la recherche ont été importés dans l'outil RAYYAN pour faciliter le tri et la sélection des études selon des critères d'inclusion et d'exclusion rigoureux :

- Critères d'inclusion :
  - Études comparant directement les effets du HIIT et du MICT.
  - Population constituée d'athlètes ou d'individus actifs.
  - Résultats portant sur la VO<sub>2</sub>max.
  - Études publiées entre 2014 et 2024.
- Critères d'exclusion :
  - Études portant sur des populations non entraînées, obèses, ou souffrant de maladies/pathologies.
  - Études ne rapportant pas de données sur l'amélioration de la VO<sub>2</sub>max.
  - Revues systématiques, méta-analyses, ou articles de revue.
  - Interventions de courte durée (moins d'une semaine).

Après application de ces critères, 27 études ont été retenues comparant les méthodes d'entraînement HIIT et MICT sur une population sportive mais seulement 7 ont fait l'objet d'une qualité méthodologique précise pouvant être retenue dans la méta-analyse.

### 3.3 Extraction et analyse des données

Les données des études sélectionnées ont été extraites de manière systématique en utilisant un tableau standardisé. Les informations collectées pour chaque étude incluaient :

- Référence de l'étude : Titre, auteurs, année de publication.
- Caractéristiques de l'échantillon : Nombre de participants, proportion des sexes.
- Description des interventions : Détails des protocoles HIIT et MICT (durée, intensité, fréquence des entraînements).
- Durée de l'intervention : Nombre total de semaines ou de mois d'intervention.
- Résultats principaux : Mesures de performances concernant l'amélioration de la VO<sub>2</sub>max mesurée en ml/min/kg.

Les données ont été analysées quantitativement et qualitativement pour identifier les tendances et les différences significatives entre les interventions HIIT et MICT.

### 3.4 Évaluation de la qualité méthodologique

La qualité méthodologique des études incluses a été évaluée à l'aide des critères PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) adaptés pour les études comparatives d'interventions. Les études ont été notées sur plusieurs aspects, tels que :

- Formulation claire de la question de recherche.
- Méthodes d'échantillonnage et de randomisation.
- Adéquation et rigueur des analyses statistiques.
- Gestion des biais potentiels et des variables confondantes.

- Transparence et cohérence dans le rapport des résultats.

### 3.5 Analyse des biais

Une analyse approfondie des biais a été réalisée pour chaque étude afin d'évaluer leurs impacts potentiels sur les résultats. Le risque de biais explore cinq domaines spécifiques : la génération de la séquence de randomisation, l'assignation secrète du traitement, les données manquantes pour le critère de jugement et les résultats rapportés de façon sélective et les autres sources de biais (Voir annexe pour l'analyse des biais).

## 4. Résultats

### 4.1 Résultats statistiques de la méta-analyse

La Figure 1 ci-dessous met en évidence qu'en moyenne, par étude, le groupe HIIT a des gains en VO<sub>2</sub>max significativement supérieurs à ceux du groupe MICT.

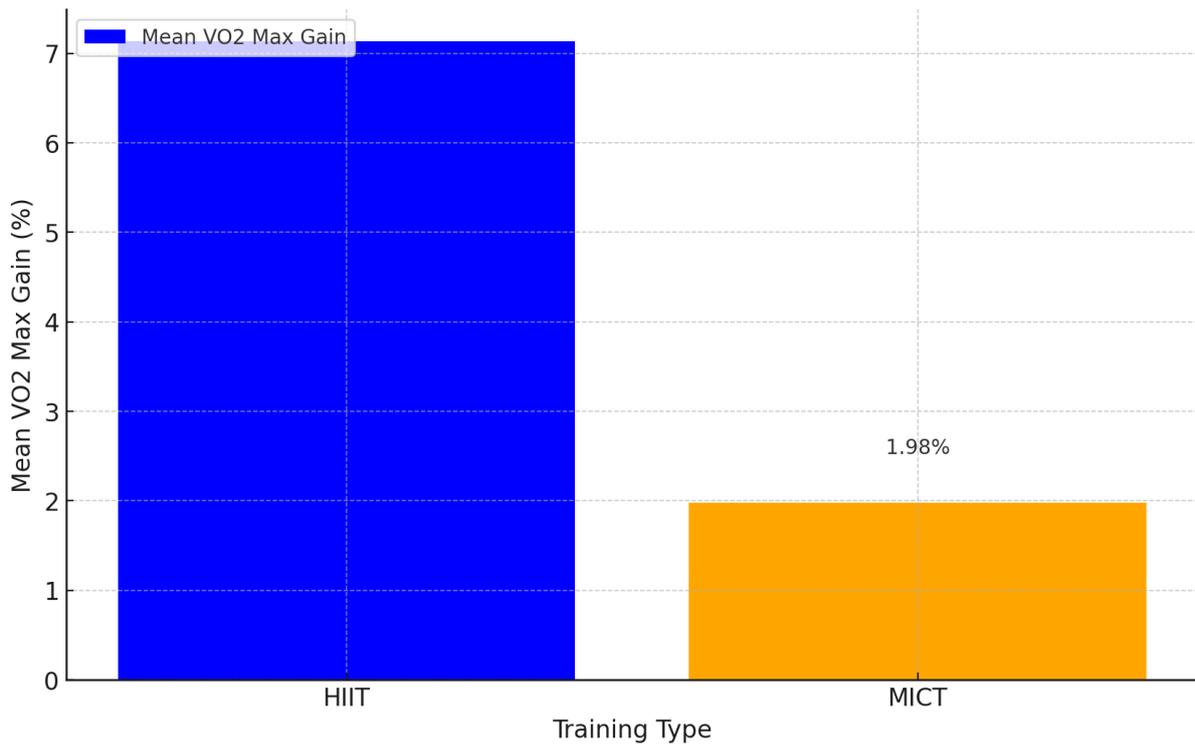


Figure 1. Gains moyens VO<sub>2</sub>max: HIIT et MICT.

- **HIIT** (barre bleue) : montre un gain moyen de VO<sub>2</sub>max de 7,14%.
- **MICT** (barre orange) : montre un gain moyen de VO<sub>2</sub>max de 1,98%.

### 4.1.1 Forest Plot

La figure ci-dessous permet de visualiser la variation des résultats des études ainsi que l'estimation combinée de ces résultats.

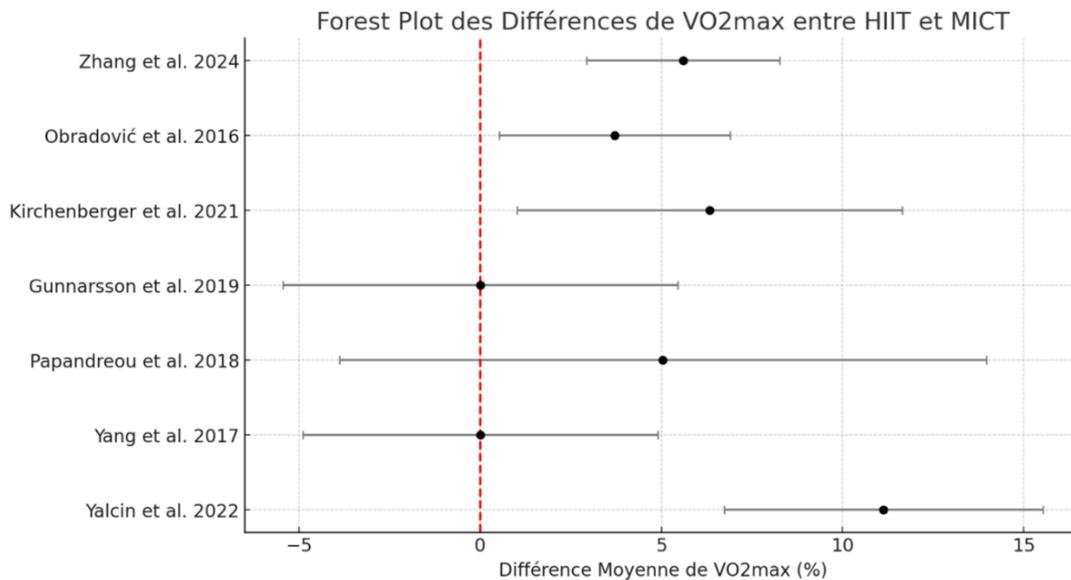


Figure 2. Forest Plot.

Ce 'Forest Plot' montre que le HIIT est généralement plus efficace que le MICT pour améliorer la VO<sub>2</sub>max. En effet, les valeurs positives. Plusieurs études, comme celles de Yalcin et al. (2022) et Kirchenberger et al. (2021), démontrent une amélioration significative en faveur du HIIT, tandis que d'autres, comme Yang et al. (2017) et Gunnarsson et al. (2019), ne montrent pas de différence significative entre les deux méthodes.

### 4.1.2 Calcul de la taille de l'effet du HIIT et MICT

Pour chaque étude analysée, la taille de l'effet a été déterminée en calculant la différence en pourcentage des changements de VO<sub>2</sub>max entre les groupes soumis au HIIT et au MICT. Ces tailles d'effet ont été pondérées en fonction du nombre total de participants dans chaque étude afin d'obtenir une mesure plus précise. Les tailles d'effet pondérées ont ensuite été utilisées pour calculer une moyenne pondérée, fournissant une estimation globale de l'effet. Le résultat montre une taille de l'effet moyenne pondérée de 4,80%, indiquant l'effet global estimé du HIIT sur l'amélioration du VO<sub>2</sub>max par rapport au MICT.

### 4.1.3 Analyse de l'hétérogénéité des études

Le Q-statistic, avec une valeur de 1509,41, révèle une variation significative des tailles d'effet entre les études analysées, montrant des différences marquées dans leurs résultats. Par ailleurs, le calcul de  $I^2$ , qui atteint 99,60%, indique que la majeure partie de cette variation est due à une hétérogénéité réelle plutôt qu'à des fluctuations aléatoires. Cette forte hétérogénéité est notamment attribuable aux divergences observées dans deux études où aucun gain en  $VO_2\text{max}$  n'a été enregistré, contrairement aux cinq autres études qui ont rapporté des changements significatifs.

### 4.2 Analyse de la qualité des articles

Une grille d'évaluation de la qualité des articles scientifiques a été réalisée selon plusieurs critères détaillés ci-dessous:

1. **Research question** : Question de recherche - Évalue si l'étude a une question de recherche claire et précise.
2. **Study population** : Population étudiée - Évalue la définition et la description de la population de l'étude.
3. **Participation rate** : Taux de participation - Évalue le pourcentage de participants par rapport à ceux initialement recrutés.
4. **Eligibility** : Éligibilité - Évalue les critères utilisés pour déterminer l'éligibilité des participants.
5. **Sample size** : Taille de l'échantillon - Évalue si la taille de l'échantillon est suffisante pour donner des résultats significatifs.
6. **Exposures** : Expositions - Évalue si les expositions étudiées sont clairement définies et mesurées.
7. **Timeframe** : Période - Évalue la période de temps sur laquelle l'étude a été réalisée, et si elle est adéquate pour les résultats attendus.
8. **Exposure levels** : Niveaux d'exposition - Évalue si les niveaux d'exposition sont bien définis et contrôlés.
9. **Exposure definition** : Définition de l'exposition - Évalue si l'exposition est clairement définie.
10. **Exposure measurements** : Mesures d'exposition - Évalue la qualité et la précision des mesures d'exposition.

11. **Outcome measures** : Mesures des résultats - Évalue la qualité et la pertinence des mesures utilisées pour évaluer les résultats.
12. **Blinding** : Insu - Évalue si l'insu (caché) est utilisé pour minimiser les biais dans l'étude.
13. **Loss to follow-up** : Perte de suivi - Évalue si les pertes de suivi des participants ont été minimisées et correctement gérées.
14. **Confounding variables** : Variables confondantes - Évalue si les variables confondantes ont été identifiées et contrôlées.

Les symboles "+", "-", et "?" sont utilisés pour évaluer la qualité des articles scientifiques selon les critères listés. Voici ce que chaque symbole signifie :

- **"+"** : Indique que le critère est satisfait ou que l'article répond positivement à ce critère. Cela signifie que l'étude a bien respecté ce critère de qualité.
- **"-"** : Indique que le critère n'est pas satisfait ou que l'article ne répond pas à ce critère. Cela signifie que l'étude a des faiblesses ou des lacunes importantes en ce qui concerne ce critère de qualité.
- **"?"** : Indique que le critère est incertain ou que les informations disponibles ne permettent pas de déterminer si le critère est satisfait ou non. Cela peut aussi signifier que les informations nécessaires pour évaluer ce critère ne sont pas fournies dans l'article.

Critères	Yang et al. 2017	Papandreu et al. 2018	Gunnarsson et al. 2019	Kirchenberger et al. 2021	Yalcin et al. 2022	Obradović et al. 2016	Zhang et al. 2024
Research question	+	+	+	+	+	+	+
Study population	+	+	+	+	+	+	+
Participation rate	?	?	?	?	?	?	?
Eligibility	+	+	+	+	+	+	+
Sample size	-	-	-	-	-	+	+
Exposures	+	+	+	+	+	+	+
Timeframe	+	+	+	+	+	+	+
Exposure levels	+	+	+	+	+	+	+
Exposure definition	+	+	+	+	+	+	+

Exposure measurements	+	+	+	+	+	+	+
Outcome measures	+	+	+	+	+	+	+
Blinding	?	?	-	-	-	-	-
Loss to follow-up	?	-	-	?	?	?	?
Confounding variables	-	-	-	-	-	-	-

Tableau 1. Analyse de la qualité des articles.

### 4.3 Tableau des résultats

Ci-dessous le tableau reprenant les 7 études reprises dans la méta-analyse, détaillant la méthodologie d'entraînement des différents groupes, la durée d'intervention, la fréquence d'entraînement, les gains en pourcentage de VO<sub>2</sub>max et autres gains de performance s'ils sont pertinents, après la durée d'intervention des études.

Étude	Année	Groupe	Échantillon	Méthodologie de l'entraînement	Volume d'entraînement	Durée de l'intervention	Résultat(s) aérobic	Sport pratiqué
Yalcin et al. 2022	2022	HIIT	3 femmes, 6 hommes	5 séries de 6-8 répétitions de 30s à 80-100% de FCmax avec 60s de repos	3 sessions par semaine	6 semaines	Augmentation significative de VO <sub>2</sub> max de 11,5%.	Cyclisme
Yalcin et al. 2022	2022	MICT	4 femmes, 5 hommes	Entraînement continu régulier de 60' à 65-70% de Fcmax.	3 sessions par semaine	6 semaines	Pas de progression sur la VO <sub>2</sub> max.	Cyclisme
Yang et al. 2017	2017	HIIT	8 hommes	7 séries de 2 minutes à 90% VO <sub>2</sub> max sur ergomètre de canoë, avec 1 minute de repos entre chaque série.	3 sessions par semaine, 20 minutes par session	4 semaines	Augmentation significatif de la pVO <sub>2</sub> max de 14,9% mesurée en watts (puissance) mais pas de progression	Canoë

							concernant la VO2max mesurée en ml/min/kg	
Yang et al. 2017	2017	MICT	8 hommes	20 minutes à 65% VO2max sur ergomètre de canoë	3 sessions par semaine, 20 minutes par session	4 semaines	Amélioration de la CV de 6,25%, mais pas de progression concernant la VO2max.	Canoë
Papandreou et al. 2018	2018	HIIT	6 hommes, 2 femmes	Sessions de 8 répétitions de 30 secondes à 120% VO2max avec 60 secondes de récupération.	3 sessions par semaine, 30 secondes par répétition	8 semaines	Amélioration de la VO2max de 6,33% et de la vitesse de de pédalage à VO2max de 11%.	Kayak
Papandreou et al. 2018	2018	MICT	6 hommes, 2 femmes	Sessions de 60 minutes à 70% VO2max	3 sessions par semaine, 60 minutes par session	8 semaines	Amélioration de la vitesse de pédalage à VO2max de 6,27% mais pas de progression concernant la VO2max.	Kayak
Gunnarsson et al. 2019	2019	HIIT	6 hommes	60 minutes de cyclisme avec sprints de 30s à 120% VO2max toutes les 10 minutes.	3 sessions par semaine, 60 minutes par session	8 semaines	Amélioration du temps vélo sur 45' de 4% mais pas de progression concernant la VO2max.	Cyclisme
Gunnarsson et al. 2019	2019	MICT	7 hommes	60 minutes de cyclisme à 60% VO2max sans sprints.	3 sessions par semaine, 60 minutes par session	8 semaines	Amélioration du temps vélo sur 45' de 9% mais pas de progression concernant la VO2max.	Cyclisme
Kirchenberger et al. 2021	2021	HIIT	10 hommes	3×/semaine 70–90 min à 65–70% FCmax + 2×/semaine 2×4×2 min à ≈95% FCmax, 60 s repos	5 sessions par semaine	8 semaines	Amélioration significative de la VO2max de 6,33%.	Aviron

Kirchenberger et al. 2021	2021	MICT	7 hommes	70–90 min à 65–70% FCmax	5 sessions par semaine	8 semaines	Pas d'amélioration concernant la VO2max.	Aviron
Obradović et al. 2016	2016	HIIT	20 hommes	8-12x 30s à 100% vVO2max, 30s de récupération active à 50% VO2max	3 sessions par semaine	4 semaines	Amélioration significative de la VO2max de 10,8%.	Course à pied
Obradović et al. 2016	2016	MICT	20 hommes	Pyramide de distances progresisves cfr. Programme	3 sessions par semaine	4 semaines	Amélioration significative de la VO2max de 7,09%.	Course à pied
Zhang et al. 2024	2024	HIIT	25 hommes	30sec intensité max. suivi de 30s de course lente, répété 5 fois par bloc, 4 bloc au total/récup. 2' entre les blocs.	3 sessions par semaine	4 semaines	Amélioration significative de la VO2max de 12%.	Football
Zhang et al. 2024	2024	MICT	25 hommes	Course continue à intensité modérée de 40 ' à 65-75% Fcmax.	3 sessions par semaine	4 semaines	Amélioration significative de la VO2max de 6,74%	Football

Tableau 2. Tableau des résultats.

## 4.4 Diagramme de filtrage des études

Ci-dessous est repris la figure PRISMA expliquant l'inclusion des articles dans la méta-analyse :

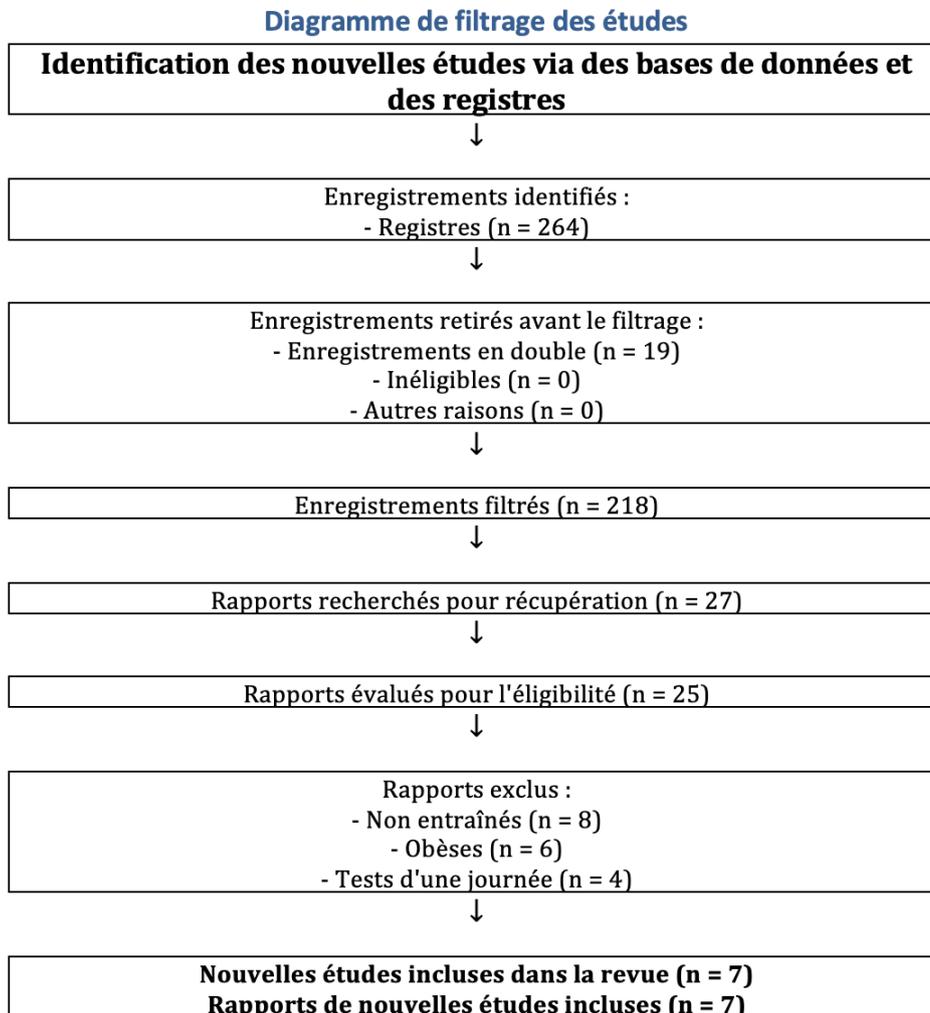


Figure 3. Flow-chart PRISMA

## 4.5 Analyse des biais méthodologiques des études

Cette méta-analyse, bien qu'informatrice, présente plusieurs limites importantes qui doivent être considérées :

1. **Durée courte des interventions** : Toutes les études incluses ont des interventions qui ne dépassent pas 8 semaines. Cette limitation empêche d'évaluer les effets à long terme du HIIT par rapport au MICT.

2. **Petite taille d'échantillon** : Les échantillons sont relativement petits (84 participants pour HIIT et 82 pour MICT), ce qui limite la puissance statistique et la généralisation des résultats.
3. **Variabilité des protocoles** : Les protocoles d'entraînement varient significativement entre les études, tant en termes de durée et d'intensité des intervalles que des périodes de repos, rendant la comparaison directe des résultats complexe.
4. **Biais de sélection et d'attrition** : Certains biais sont présents, tels que la sélection de participants très spécifiques (comme des jeunes athlètes) et le manque de documentation sur les taux d'abandon, ce qui peut affecter la validité des conclusions.
5. **Biais de mesure** : Les variations dans les conditions de mesure (équipements spécifiques, environnement contrôlé) peuvent limiter l'applicabilité des résultats aux conditions d'entraînement réelles.

En résumé, bien que cette méta-analyse apporte des éléments intéressants sur l'efficacité du HIIT par rapport au MICT, ces résultats doivent être interprétés avec prudence en raison des limitations méthodologiques identifiées. Des recherches supplémentaires avec des protocoles plus longs, des échantillons plus larges, et une standardisation des méthodes sont nécessaires pour valider ces conclusions.

Cfr. Annexe pour l'analyse des biais spécifiques à chaque étude, figures 4 à 10.

## 5. Discussion

L'objectif de cette méta-analyse est de comparer les effets du HIIT et du MICT sur l'amélioration de la  $VO_2\text{max}$  chez les athlètes d'endurance, un indicateur clé de la capacité aérobie, afin de déterminer quelle méthode d'entraînement est la plus efficace pour optimiser ce paramètre chez les sportifs.

Les résultats de cette méta-analyse sont en accord avec les conclusions de la littérature existante, qui montrent que le HIIT est particulièrement efficace pour l'amélioration rapide de la  $VO_2\text{max}$ . Sur les études analysées, une majorité démontre que le HIIT permet une amélioration de la  $VO_2\text{max}$  allant de 10 % à 15 % en seulement 6 à 8 semaines. En comparaison, les études sur le MICT indiquent des augmentations plus modestes, de l'ordre de 5 % à 8 % pour des durées d'entraînement similaires. Ce contraste souligne l'efficacité du HIIT pour induire des adaptations cardiovasculaires significatives en un temps relativement court.

En revanche, l'étude de Yang et al. (2017), a montré que les participants du groupe HIIT n'ont pas observé de gain en  $VO_2\text{max}$  (0%), le groupe MICT a également affiché des gains nuls. Cette absence de gain pourrait être liée à des facteurs méthodologiques ou à la durée de l'intervention, qui était relativement courte (4 semaines), limitant ainsi le temps nécessaire pour voir des améliorations significatives. De plus, dans cette même étude, il est important de souligner d'autres résultats : Le groupe HIIT a vu la puissance moyenne à  $VO_2\text{max}$  améliorée de 14% en l'espace de 4 semaines, le groupe MICT a lui, vu sa vitesse critique ( $VC$ = vitesse pouvant être tenue entre 20' pour un athlète moyennement entraîné à 1h pour un athlète très entraîné) améliorée de 6%, malgré des gains nuls en  $VO_2\text{max}$  pour les deux groupes.

Ceci se confirme avec l'étude de Gunnarsson et al. (2019), dans laquelle les groupes HIIT et MICT ont vu une amélioration respective de 4% et 9% sur un contre-la-montre à vélo de 45 minutes, malgré une amélioration nulle de la  $VO_2\text{max}$  après la durée d'intervention. Sur base de ces résultats, nous pouvons conclure que la  $VO_2\text{max}$  n'est pas le seul facteur représentatif de l'amélioration de la performance.

Ceci s'explique par le fait que l'efficacité mécanique et technique, ainsi que les capacités anaérobies et la gestion des lactates, sont des éléments clés pour optimiser la performance athlétique. En améliorant l'économie de mouvement et la coordination

neuromusculaire, un athlète peut réduire sa consommation d'énergie, ce qui permet d'augmenter la vitesse ou l'endurance sans accroître la demande en oxygène. Par ailleurs, le développement de la capacité anaérobie, qui permet de soutenir des efforts intenses sans oxygène, et la tolérance accrue aux lactates, retardent la fatigue musculaire et prolongent la durée de l'effort à haute intensité. La capacité à tamponner et recycler les lactates produits lors d'exercices intenses contribue également à retarder la fatigue et à maintenir un effort prolongé, tout comme l'amélioration des réserves de glycogène et de la capacité oxydative des muscles.

Sur le plan scientifique, ces résultats renforcent l'idée que le HIIT est particulièrement efficace pour améliorer rapidement la  $VO_2\text{max}$  et les performances anaérobies, en particulier pour des distances courtes et des sports nécessitant des efforts explosifs. L'étude de Yang et al. (2017) illustre bien cette efficacité en démontrant que le HIIT surpasse le MICT pour améliorer les performances sur des distances courtes, comme le 200 mètres en canoë.

En revanche, le MICT, bien qu'il soit moins performant à court terme pour augmenter le  $VO_2\text{max}$ , reste crucial pour le développement de l'endurance aérobie sur des distances plus longues. Les études de Papandreou et al. et Yalcin et al. (2019) ont montré des résultats égaux voire supérieurs sur des tests de performances de longue durée comme le 1000m en canoë, en faveur des groupes MICT.

D'un point de vue pratique, ces résultats suggèrent que le choix de la méthode d'entraînement doit être guidé par les objectifs spécifiques de l'athlète. Pour ceux qui visent des gains rapides en puissance aérobie et en performance anaérobies, comme les athlètes de sports de sprint ou les compétitions nécessitant des efforts maximaux de courte durée, le HIIT s'avère être une méthode très efficace.

En revanche, pour les athlètes engagés dans des sports d'endurance, où la capacité à maintenir un effort modéré sur une longue période est essentielle, le MICT offre des avantages substantiels en termes de durabilité de la performance.

Concernant les futures approches, l'exploration des effets combinés du HIIT et du MICT sur des périodes prolongées d'entraînement révèle des perspectives prometteuses. Cette approche polarisée, alternant les deux méthodes d'entraînement

permettrait d'optimiser les adaptations physiologiques tout en réduisant le risque de surentraînement grâce aux périodes de récupération active proposées par le MICT.

En parallèle, l'influence de la nutrition sur l'efficacité du HIIT et du MICT est une piste intéressante. Des ajustements nutritionnels, comme la manipulation des glucides ou l'intégration d'antioxydants, pourraient améliorer les performances et faciliter la récupération, tout en atténuant le stress oxydatif induit par le HIIT.

Enfin, l'impact à long terme du HIIT et du MICT sur la performance et la santé des athlètes reste un domaine clé de recherche. Bien que le HIIT offre des améliorations rapides, la durabilité de ces gains et leur maintien sans augmenter le risque de blessures nécessite encore des investigations approfondies.

## 6. Conclusion

Cette revue systématique montre que l'entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) est particulièrement efficace pour améliorer rapidement la  $VO_2\text{max}$  chez les athlètes d'endurance, surpassant l'entraînement continu à intensité modérée (MICT) sur des périodes d'intervention allant jusqu'à 8 semaines. Cependant, les gains observés sont principalement à court terme, ce qui soulève des questions sur la durabilité de ces améliorations.

L'objectif principal de ce travail était de déterminer quelle méthode d'entraînement entre le HIIT et le MICT est la plus efficace pour l'amélioration de la  $VO_2\text{max}$ . La revue a démontré que le HIIT offre des avantages significatifs en termes de gains rapides de performance aérobie, ce qui en fait une option attrayante pour les athlètes cherchant des résultats rapides dans des délais serrés. Toutefois, en raison de la nature intense du HIIT, le risque de surentraînement et de blessures est également plus élevé, ce qui en fait un choix potentiellement moins durable sur le long terme.

D'un point de vue pratique, les entraîneurs et les athlètes doivent tenir compte de ces résultats lors de la planification des programmes d'entraînement. Pour maximiser les performances et minimiser les risques, une approche équilibrée combinant HIIT et MICT pourrait être la plus bénéfique. Le MICT, avec ses effets plus durables et moins risqués, constitue une base solide d'endurance, tandis que le HIIT peut être utilisé pour des gains de  $VO_2\text{max}$  plus rapides et des adaptations spécifiques en puissance aérobie maximale.

Enfin, il est essentiel de mener des recherches supplémentaires avec des protocoles plus longs pour mieux comprendre les effets à long terme du HIIT et valider la durabilité des gains obtenus. Ces études aideront à affiner les recommandations d'entraînement pour les athlètes d'endurance, en favorisant une progression stable sur le long terme. En conclusion, bien que le HIIT soit efficace à court terme, le MICT reste crucial pour une performance durable, soulignant l'importance d'une approche d'entraînement diversifiée et adaptée aux besoins des athlètes.

## 7. Bibliographie

1. Gibala, M. J., et al. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of Physiology*, 575(3), 901-911. DOI: **10.1113/jphysiol.2006.112094**
2. Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32(1), 53-73. DOI: **10.2165/00007256-200232010-00003**
3. Burgomaster, K. A., et al. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of Physiology*, 586(1), 151-160. DOI: **10.1113/jphysiol.2007.142109**
4. Helgerud, J., et al. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(4), 665-671. DOI: **10.1249/mss.0b013e3180304570**
5. MacInnis, M. J., & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *The Journal of Physiology*, 595(9), 2915-2930. DOI: **10.1113/JP273196**
6. Hawley, J. A. (2002). Adaptations of skeletal muscle to prolonged, intense endurance training. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 29(3), 218-222. DOI: **10.1046/j.1440-1681.2002.03625.x**
7. Jones, A. M., & Carter, H. (2000). The effect of endurance training on parameters of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 29(6), 373-386. DOI: **10.2165/00007256-200029060-00001**
8. Bishop, D., & Jenkins, D. G. (1996). The influence of resistance training on the critical power function & time to fatigue. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(2), 212-217. DOI: **10.1016/j.jsams.2014.09.006**
9. Milanović, Z., et al. (2015). Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO<sub>2</sub>max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Medicine*, 45(10), 1469-1481. DOI: **10.1007/s40279-015-0365-0**
10. Weston, K. S., et al. (2014). High-intensity interval training in patients with lifestyle-induced cardiometabolic disease: a systematic review and meta-analysis. *British*

*Journal of Sports Medicine*, 48(16), 1227-1234. DOI: **10.1136/bjsports-2013-092576**

11. Wen, D., et al. (2019). Effects of different protocols of high intensity interval training for VO<sub>2</sub>max improvements in adults: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(8), 941-947. DOI: **10.1016/j.jsams.2019.01.013**
12. Scharhag-Rosenberger, F., et al. (2010). Exercise at given percentages of VO<sub>2</sub>max: heterogeneous metabolic responses between individuals. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13(1), 74-79. DOI: **10.1016/j.jsams.2008.12.626**
13. Daussin, F. N., et al. (2008). Effects of interval vs continuous training on cardiorespiratory and mitochondrial functions: relationship to aerobic performance improvements in sedentary subjects. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 295(1), R264-R272. DOI: **10.1152/ajpregu.00050.2008**
14. Seiler, S., & Tønnessen, E. (2009). Intervals, thresholds, and long slow distance: the role of intensity and duration in endurance training. *Sports Science Exchange*, 22(93), 1-10. DOI: **10.2165/00007256-200232010-00003**
15. Rosenblat, M. A., et al. (2019). Polarized vs. Threshold Training Intensity Distribution on Endurance Sport Performance: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(12), 3491-3500. DOI: **10.1519/JSC.0000000000002997**
16. Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: A little pain for a lot of gain? *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 36(2), 58-63. DOI: **10.1097/JES.0b013e318168ec1f**
17. Garber, C. E., et al. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: guidance for prescribing exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1334-1359. DOI: **10.1249/MSS.0b013e318213febf**
18. Hill, E. E., et al. (2008). Exercise and circulating cortisol levels: The intensity threshold effect. *Journal of Endocrinological Investigation*, 31(7), 587-591. DOI: **10.1007/BF03345606**

19. Torres, R., Duarte, J. A., & Mendes, R. (2021). The impact of exercise intensity on cortisol responses: A study in elite athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 20(1), 1-8. DOI: **10.1007/sports11234-020-00393-6**
20. Viru, A., Smirnova, T., & Karelson, K. (2001). Hormones in short-term and long-term adaptation to exercise. *Sports Medicine*, 31(6), 373-387. DOI: **10.2165/00007256-200131060-00002**
21. Gladwell, V. F., et al. (2010). Cardiac vagal activity following three intensities of exercise in humans. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 30(1), 17-22. DOI: **10.1111/j.1475-097X.2009.00894.x**
22. James, D. V., et al. (2012). Heart rate variability: Response following a single bout of moderate-intensity exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 33(1), 43-47. DOI: **10.1055/s-0031-1285924**
23. Seiler, S., Haugen, O., & Kuffel, E. (2007). Autonomic recovery after exercise in trained athletes: Intensity and duration effects. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(8), 1366-1373. DOI: **10.1249/mss.0b013e318060f17d**
24. Brooks, G. A., et al. (2022). The Science and Physiology of Lactate Production and Utilization. *Journal of Applied Physiology*, 132(4), 1393-1401. DOI: **10.1152/jappphysiol.00687.2021**
25. Brooks, G. A. (2020). Lactate as a key mediator in training adaptation and recovery. *European Journal of Sport Science*, 20(1), 3-13. DOI: **10.1080/17461391.2019.1651012**
26. Rabinowitz, J. D., & al. (2020). The interplay between glycolysis and mitochondrial metabolism during mammalian cell proliferation. *Journal of Biological Chemistry*, 295(11), 4207-4229. DOI: 10.1074/jbc.REV119.009508
27. Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., & Lambert, J. (2001). The multistage 20 meter shuttle run test for aerobic fitness. *Journal of Sports Sciences*, 19(3), 102-114. DOI: **10.1080/026404101300149313**

## 8. Annexes

Analyse des biais des 7 études reprises dans la méta-analyse :

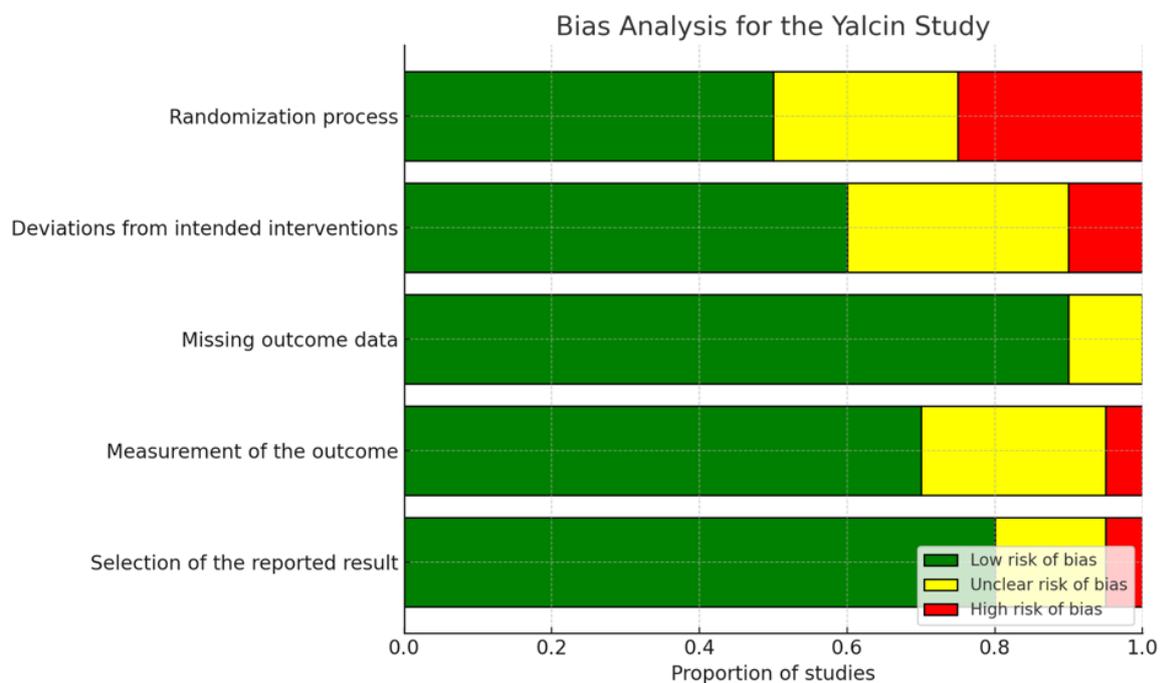


Figure 4. Analyse des biais de l'étude de Yalcin et al. (2022)

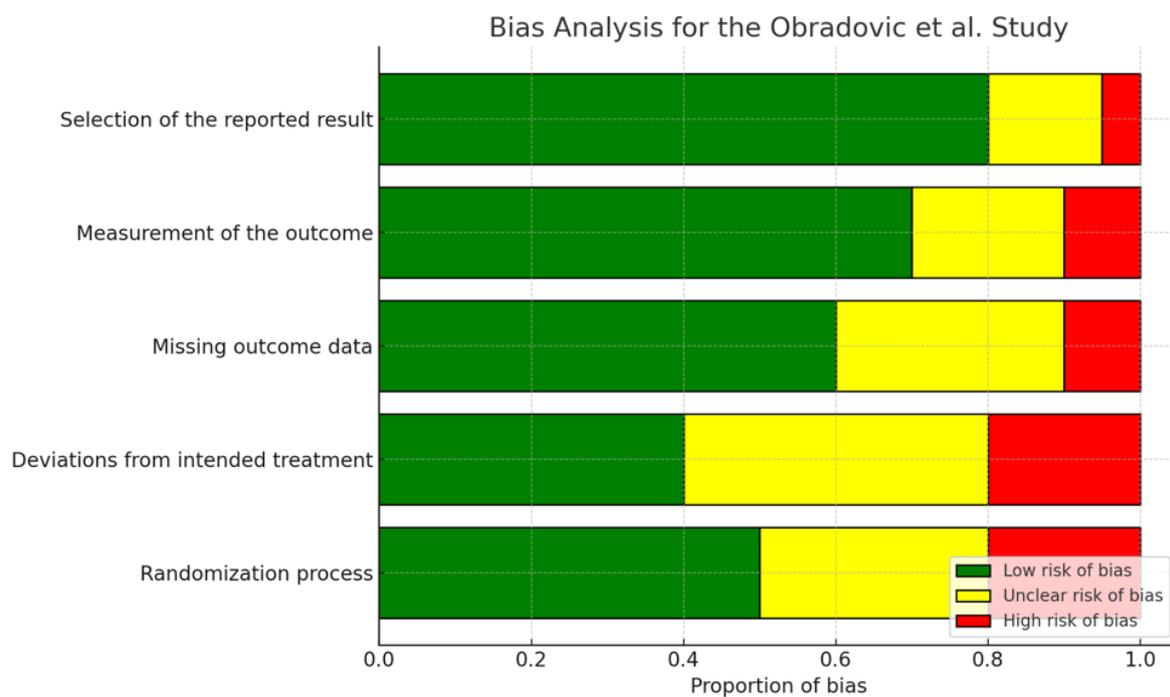


Figure 5. Analyse des biais de l'étude de Obradovic et al. (2016)

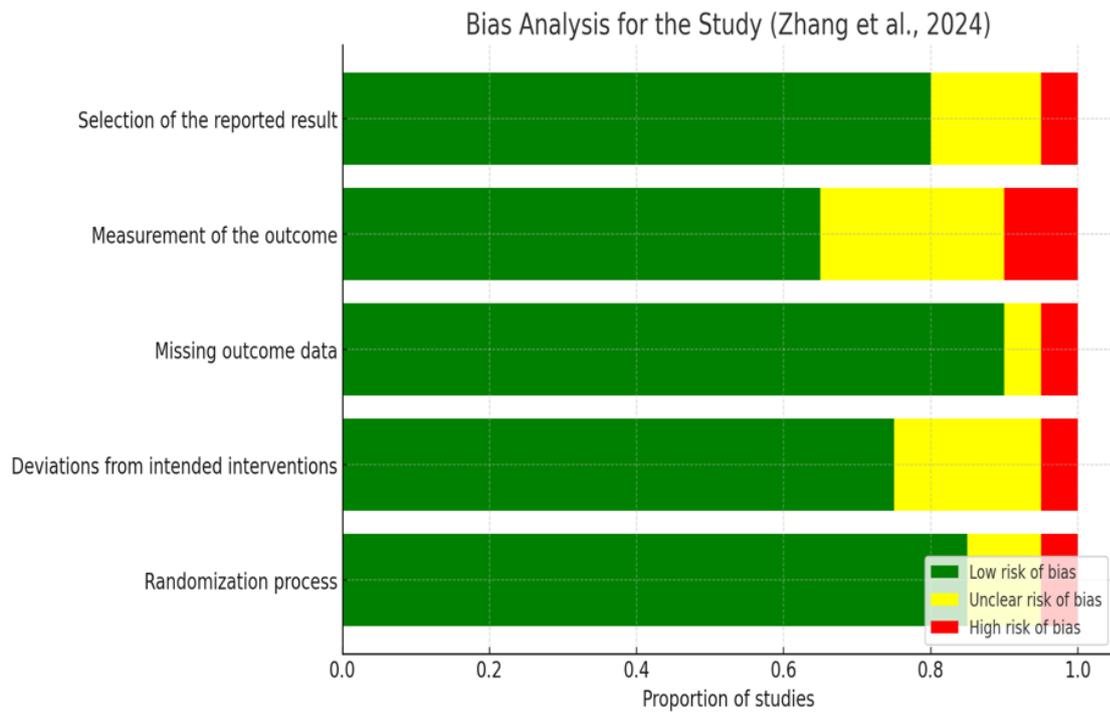


Figure 6. Analyse des biais de l'étude de Zhang et al. (2024)

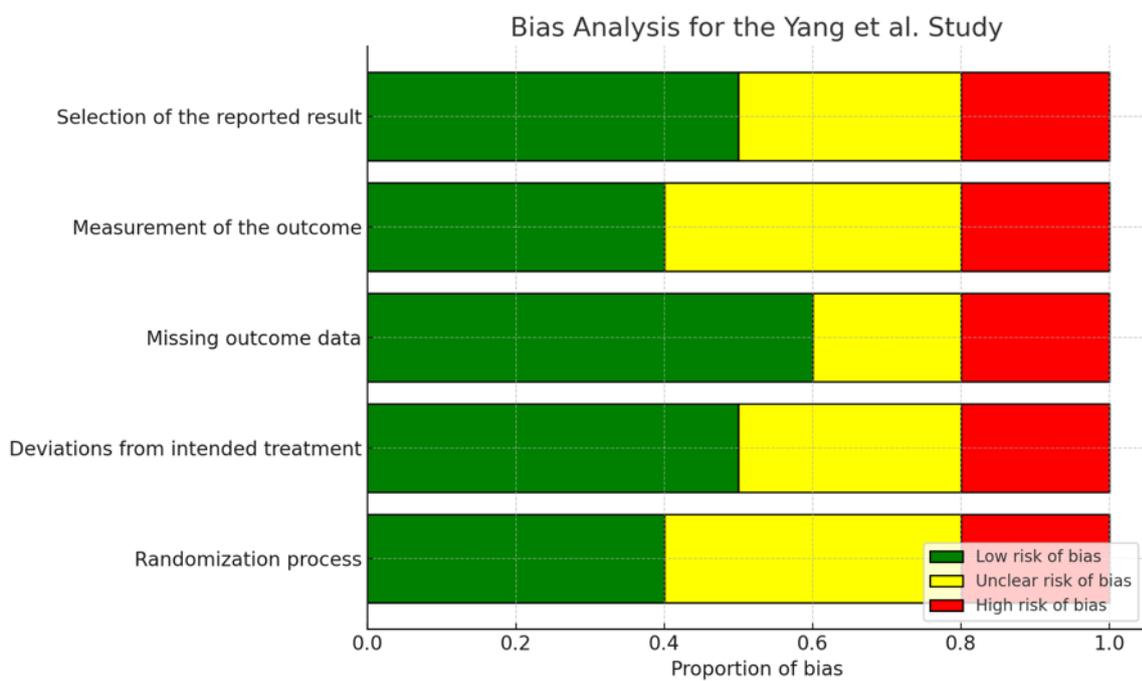


Figure 7. Analyse des biais de l'étude de Yang et al. (2017)

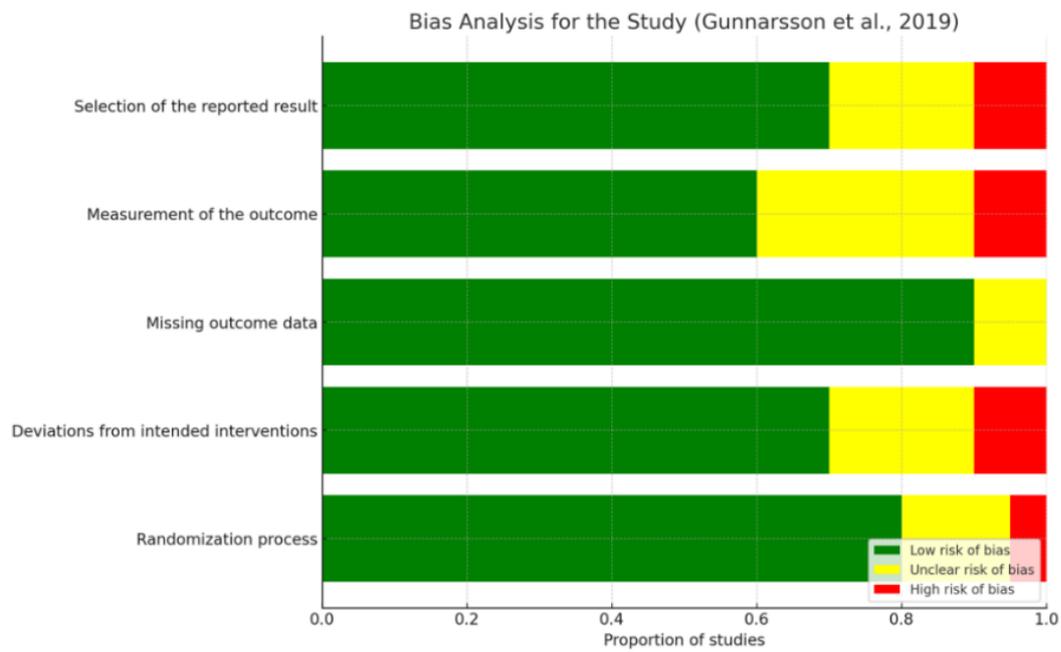


Figure 8. Analyse des biais de l'étude de Gunnarsson et al. (2019)

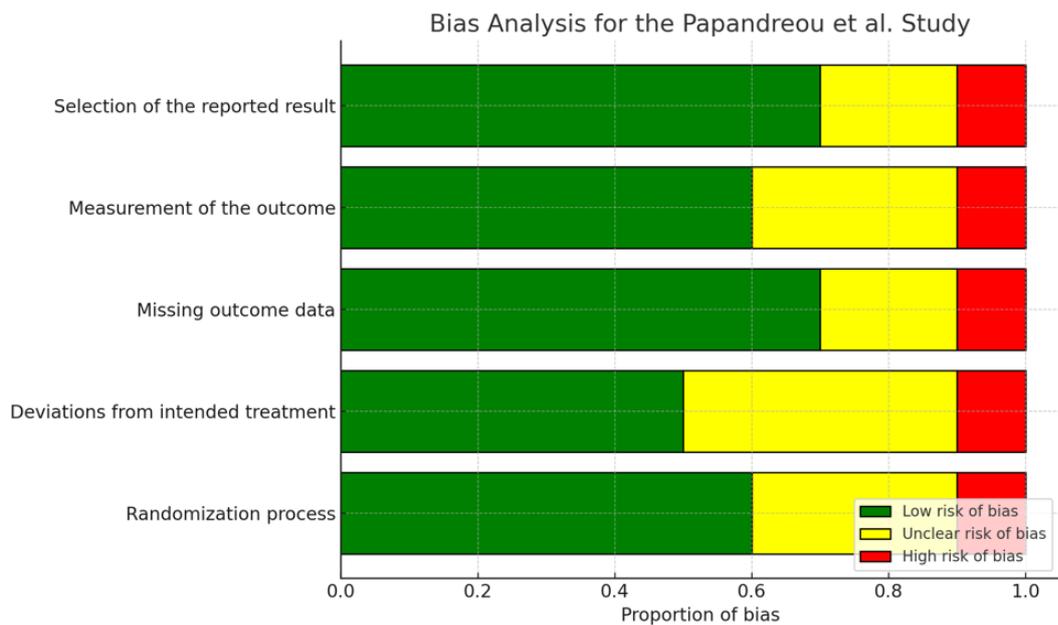


Figure 9. Analyse des biais de l'étude de Papandreou et al. (2018)

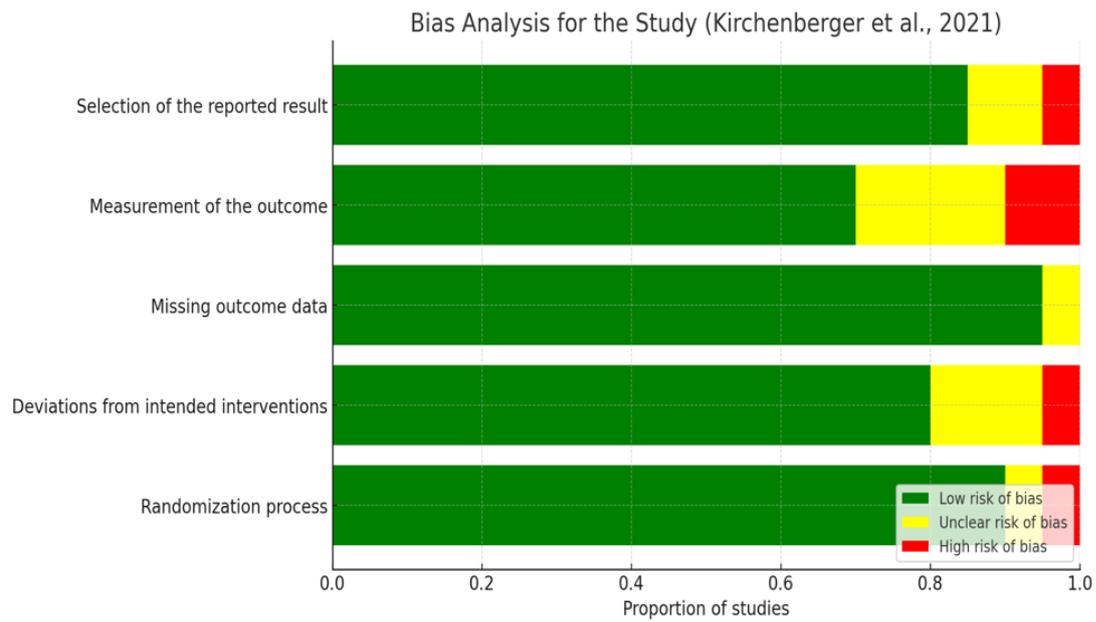


Figure 10. Analyse des biais de l'étude de Yalcin et al. (2021)



Mémoire de fin d'études - ISEK - Grille d'évaluation (2024)		REMARQUES
Nom de l'étudiant.e :	Note proposée :	
<b>L'ETUDIANT A DEMONTRER LE DEVELOPPEMENT DES COMPETENCES SUIVANTES :</b>		
chez la case *** = compétence maîtrisée ** = compétence acquise * = compétence non acquise		
Imaginer et concevoir un projet de recherche	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proposer et étudier une question de recherche originale et/ou d'actualité en lien avec les études de kinésithérapie ;</li> <li>Poser un cadre théorique en utilisant les ressources bibliographiques pertinentes (introduction).</li> </ul>	***
		**
		*
Réaliser un projet de recherche	<ul style="list-style-type: none"> <li>Concevoir et réaliser un protocole approprié à la question de recherche (matériel et méthodologie) ;</li> <li>Promoteur/directeur : La collaboration entre l'étudiant et ses promoteurs/directeurs a été équilibrée en terme d'investissement et d'autonomie.</li> </ul>	***
		**
		*
Présenter un projet de recherche (ECRIT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Respecter les normes IMRaD / PRISMA ;</li> <li>Décrire clairement et précisément la méthodologie ;</li> <li>Présenter les résultats correctement (graphiques, tableaux) ;</li> <li>Référencer correctement les citations et références à la littérature dans le texte et rédiger une bibliographie respectant une norme conventionnelle (APA, Vancouver...)</li> <li>Rédiger un écrit en respectant les règles d'orthographe et de syntaxe de la langue choisie (FR ou ANG).</li> </ul>	***
		**
		*
Argumenter un projet de recherche (ECRIT)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Exposer et interpréter des résultats de façon impartiale ;</li> <li>Faire appel aux ressources bibliographiques avec discernement (discussion) ;</li> <li>Identifier et motiver les biais méthodologiques.</li> </ul>	***
		**
		*
Présenter un projet de recherche (ORAL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Réaliser une présentation du travail en tenant compte des contraintes d'une défense de mémoire (durée de la présentation, nombre de diapos, présentation sourcée) ;</li> <li>Le support de présentation est clair, lisible et soutient le propos ;</li> <li>Présentation orale claire et maîtrisée.</li> </ul>	***
		**
		*
Défendre un projet de recherche (ORAL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Répondre aux questions posées de façon pertinente et utiliser un jargon propre au thème abordé ;</li> <li>Démontrer une maîtrise de la théorie en lien avec le sujet présenté ;</li> <li>Extrapoler les informations du sujet présenté hors du cadre strict de la présentation du mémoire.</li> </ul>	***
		**
		*
Le mémoire peut être mis à disposition du public (bibliothèque) - cochez la case		
Le mémoire peut être soumis à un concours de travaux de fin d'études - cochez la case		

Critères de notation :

Majorité de \*\*\*, minorité de \*\* Entre 15 et 20

Majorité de \*\*, minorité de \*\*\* Entre 10 et 15

Un \*, majorité de \*\*\*, minorité de \*\* Entre 8 et 9

Un \*, majorité de \*\*, minorité de \*\*\* Entre 6 et 7

Plusieurs \* <6



## 9. Résumé

**Objectifs** : Cette méta-analyse évalue l'impact de l'entraînement par intervalles à haute intensité (HIIT) par rapport à l'entraînement continu à intensité modérée (MICT) sur l'amélioration de la VO<sub>2</sub>max chez les athlètes d'endurance.

**Méthodes** : Une recherche systématique des bases de données, de janvier 2014 à aujourd'hui, a inclus des études comparant le HIIT et le MICT chez des individus actifs. Un total de 166 participants a été analysé, avec 84 dans les groupes HIIT et 82 dans les groupes MICT. La méta-analyse a évalué les résultats sur la VO<sub>2</sub>max et la qualité des études.

**Résultats** : Le HIIT a montré des améliorations plus importantes de la VO<sub>2</sub>max (10-15%) par rapport au MICT (5-8%), en particulier dans les interventions à court terme. Cependant, ces résultats sont basés sur des études avec des périodes d'intervention allant jusqu'à 8 semaines.

**Conclusions** : Bien que le HIIT offre des gains rapides en VO<sub>2</sub>max, des études avec des interventions plus longues sont nécessaires pour évaluer ses effets à long terme par rapport au MICT. Les recherches futures devraient également examiner les avantages de la combinaison des deux méthodes d'entraînement.

### **Abstract**

**Objectives:** This meta-analysis evaluates the impact of High-Intensity Interval Training (HIIT) versus Moderate-Intensity Continuous Training (MICT) on VO<sub>2</sub>max improvement in endurance athletes.

**Methods:** A systematic search of databases from January 1, 2014, to the present included studies comparing HIIT and MICT in active individuals. A total of 166 participants were analyzed, with 84 in HIIT groups and 82 in MICT groups. Meta-analysis assessed VO<sub>2</sub>max outcomes and study quality.

**Results:** HIIT showed greater VO<sub>2</sub>max improvements (10-15%) compared to MICT (5-8%), particularly in short-term interventions. However, these findings are based on studies with intervention periods of up to 8 weeks.

**Conclusions:** While HIIT offers rapid VO<sub>2</sub>max gains, longer intervention studies are needed to evaluate its long-term effects compared to MICT. Future research should also consider the benefits of combining both training methods.

**Keywords:** VO<sub>2</sub>max, High-Intensity Interval Training, Moderate-Intensity Continuous Training, endurance athletes, meta-analysis.