



Ce document est le fruit d'un long travail et a été validé par l'auteur et son directeur de mémoire en vue de l'obtention de l'UE 28, Unité d'Enseignement intégrée à la formation initiale de masseur kinésithérapeute.

L'ILFMK de Nancy n'est pas garant du contenu de ce mémoire mais le met à disposition de la communauté scientifique élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : secretariat@kine-nancy.eu

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<https://www.service-public.fr/professionnels-entreprises/vosdroits/F23431>

MINISTERE DE LA SANTE

REGION GRAND EST

INSTITUT LORRAIN DE FORMATION EN MASSO-KINESITHERAPIE DE NANCY

**EFFICACITE DE
L'ELECTROSTIMULATION
NEUROMUSCULAIRE (ESNM) A VISEE DE
RECUPERATION POST-EFFORT CHEZ LE
SPORTIF PROFESSIONNEL ET AMATEUR**

Une revue systématique

Sous la direction de M. Petitdant

Mémoire présenté par **Bruno Polinsky**
Etudiant en 4^{ème} année de masso-kinésithérapie,
en vue de valider l'UE28
dans le cadre de la formation initiale
du Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute

Promotion 2016-2020.



UE 28 - MÉMOIRE
DÉCLARATION SUR L'HONNEUR CONTRE LE PLAGIAT

Je soussigné(e), Bruno POLINSKY.....

Certifie qu'il s'agit d'un travail original et que toutes les sources utilisées ont été indiquées dans leur totalité. Je certifie, de surcroît, que je n'ai ni recopié ni utilisé des idées ou des formulations tirées d'un ouvrage, article ou mémoire, en version imprimée ou électronique, sans mentionner précisément leur origine et que les citations intégrales sont signalées entre guillemets.

Conformément à la loi, le non-respect de ces dispositions me rend passible de poursuites devant le conseil de discipline de l'ILFMK et les tribunaux de la République Française.

Fait à Nancy, le 03 mai 2020.....

Signature

REMERCIEMENTS

Je souhaiterais remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près comme de loin, par leurs conseils, leur écoute, leurs mises en garde parfois, à ce que l'écriture de ce mémoire puisse être menée à son terme, dans les conditions imparties.

Dans un premier temps, je voudrais remercier mon directeur de mémoire M. Petitdant pour la confiance qu'il m'a fait de diriger ce travail, ainsi que pour ses conseils avisés, notamment méthodologiques.

Je tiens également à remercier M. Cordier pour avoir su me ramener dans le droit chemin lors du choix hasardeux d'un premier thème de travail. Merci aussi pour les discussions sources de réflexion sur l'électrothérapie.

Je voudrais également très chaleureusement remercier ma famille pour son indéfectible soutien, à tout point de vue, dans ce projet de reconversion professionnelle entrepris à trente ans en 2014 en entrant en PACES. Merci à mes parents, à ma sœur, médecin, pour tout son soutien dans cette reprise d'étude. Merci à ma cousine Chloé pour nos appels téléphoniques toujours rafraîchissants.

Merci à toi Julie pour ton soutien sans faille, merci d'entretenir mon sourire.

Merci à Mathieu, Pierre, Anthony, Olivier, de fidèles amitiés dont j'aimerais davantage prendre soin. Merci à Maïlys, Mélissa, et Sarah, trois « dinosaures de Bridoux » incroyables.

Merci aux dinosaures art.25 des Vedettes pour ces soirées mémorables (dans l'attente des prochaines), ils se reconnaîtront.

Merci enfin à moi-même d'avoir osé suivre cette fameuse maxime de René Char « Impose ta chance, serre ton bonheur et va vers ton risque. A te regarder, ils s'habitueront », et merci à Marie-Hélène de me l'avoir régulièrement répétée.

Efficacité de l'électrostimulation neuromusculaire à visée de récupération post-effort chez le sportif professionnel et amateur

Introduction

Dans les sports individuels et collectifs, les compétitions fréquentes et la recherche permanente de gains de performance conduisent les entraîneurs à poursuivre la recherche de stratégies de récupération efficaces. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité comparée de l'électrostimulation neuromusculaire sur différents critères de récupération à moyen et long terme chez le sportif professionnel et amateur. Notre hypothèse de travail repose d'une part sur l'impact de l'ESNM sur la clairance des métabolites de l'effort par les contractions musculaires engendrées et d'autre part sur la relation entre une clairance facilitée et la récupération de la performance physique.

Méthode

Nous avons exploré les bases de données MEDLINE, SportDiscuss, Web of Science, PEDro, et les sources Google Scholar, ScienceDirect, entre le 08 mars 2012 et le 31 mars 2020. Etaient incluses les études dont les protocoles utilisaient l'ESNM, i.e. à une intensité de stimulation dépassant le seuil moteur, excluant tout protocole antalgique. L'ESNM devait être comparée au minimum à la récupération passive, ne devait pas être associée à d'autres techniques de physiothérapie. Les sujets étaient sportifs professionnels et amateurs, sans blessure, âgés de 15 ans au moins. Treize études ont satisfait les critères d'inclusion, dont 3 essais contrôlés randomisés parallèles, 8 essais contrôlés randomisés croisés, et 2 essais non randomisés contrôlés croisés.

Résultats

Trois études –dont deux de qualité méthodologique moyenne- ont conclu à des effets positifs significatifs ou non de l'ESNM sur la clairance des lactates versus récupération passive, dont une étude versus récupération passive et active. Une étude de bonne qualité a trouvé un effet positif sur la clairance des CK versus récupération passive. Quatre études ont trouvé un effet positif significatif ou non sur la récupération perceptuelle versus récupération passive. Cinq études ont un trouvé un effet positif significatif ou non sur la récupération de la performance.

Conclusion

Bien que des bénéfices soient suggérés sur les marqueurs biologiques, perceptuels et de performance versus récupération passive, les preuves manquent, et aucun bénéfice clair n'est établi versus récupération active. Nous conseillons l'ESNM quand la logistique ou le temps ne permettent pas une récupération active et selon les préférences du sportif.

Mots clefs : électrostimulation neuromusculaire – performance – récupération - sport

Efficacy of neuromuscular electrostimulation for post-exercise recovery in professional and amateur sportsmen and women

Background

In individual and team sports, frequent competition and the constant search for performance gains lead coaches to continue searching for effective recovery strategies. With this work, we are aiming to evaluate the comparative effectiveness of neuromuscular electrostimulation on different medium and long-term recovery criteria in professional and amateur sportsmen and sportswomen. Our hypothesis is, on the one hand, there is an impact of NMES on the clearance of metabolites by the muscular contractions it generates, and on the other hand, there is a relationship between facilitated clearance of metabolites and the recovery of physical performance.

Method

We searched MEDLINE, SportDiscuss, Web of Science, and PEDro databases, plus Google Scholar and ScienceDirect sources between March 08, 2012 and March 31, 2020. Studies whose protocols used NMES, i.e. at a stimulation intensity above the motor threshold, excluding any analgesic protocol, were included for analysis. NMES had to be compared at least to passive recovery, but was not to be combined with other physiotherapy techniques. Subjects were professional and active recreational athletes, without injury, at least aged 15 years old. Thirteen studies met the inclusion criteria, including 3 parallel randomized controlled trials, 8 randomized crossover controlled trials, and 2 non-randomized crossover controlled trials.

Results

Three studies - two of which were of average methodological quality - concluded that NMES had significant positive or non-significant positive effects on the clearance of lactates versus passive recovery, including one study versus passive and active recovery. A good quality study found a positive effect on CK clearance versus passive recovery. Four studies found a significant or non-significant positive effect on perceptual data, compared to passive recovery. Five studies found a significant or non-significant positive effect on performance recovery.

Conclusion

Although benefits are suggested on biological, perceptual, and performance markers compared to passive recovery, evidence is still lacking. Besides, no clear benefit is established versus active recovery. We advise the use of NMES when material conditions or time at disposal do not allow an active recovery, and according to the preferences of the athlete.

Keywords : neuromuscular electrical stimulation – performance – recovery - sport

Sommaire

1. INTRODUCTION	1
2. METHODES	5
2.1. Stratégies de recherche.....	5
2.2. Critères d'inclusion	8
2.3. Méthode d'évaluation.....	11
3. RÉSULTATS	11
3.1. Résultats de la recherche.....	11
3.2. Extraction des données.....	15
3.2.1 Absence de différences significatives	15
3.2.2 Présence de différences, relations significatives ou différences probables sur des critères de jugement biologiques et physiologiques	18
3.2.3 Présence de différences, relations significatives ou différences probables sur des critères de jugement de performance physique.....	24
3.2.4 Présence de différences, relations significatives ou différences probables sur des critères de jugement perceptuels.....	25
4. DISCUSSION	27
4.1 Biais des études incluses dans la revue de littérature.....	27
4.2 Paramètres de l'ESNM.....	28
4.2.1 Durée d'application de l'ESNM.....	29
4.2.2 Localisation des électrodes	30
4.2.3 Fréquence du courant électrique	30
4.2.4 Intensité du courant électrique	30
4.2.5 Durée des impulsions électriques.....	31
4.3 Synthèse et discussion sur les résultats biologiques et physiologiques, et leurs critères de jugement.....	31
4.3.1 Lactatémie : synthèse des résultats et pertinence du critère de jugement	31
4.3.2 Créatine-kinases (CK) et pertinence du critère de jugement.....	36
4.3.3 Autres critères de jugement biologiques et physiologiques	37
4.4 Synthèse et discussion sur la récupération de la performance	39
4.5 Synthèse et discussion sur la récupération des facteurs perceptuels	41
4.5.1 Total Quality Recovery Scale (TQR).....	41
4.5.2 Rating of Perceived Exertion (RPE) et perception de la douleur	42
4.5.3 Préférence de la modalité de récupération	43
5. CONCLUSION	43
Bibliographie.....	46
Annexes	

LISTE DES ABREVIATIONS COURAMMENT UTILISEES

ACT	Groupe récupération active
Borg-RPE	Echelle de perception de l'effort de Borg
CK	Créatine-kinase
CMJ	Countermovement Jump
COMP	Groupe vêtement compressif
CON	Groupe contrôle
CONSORT	CONsolidated Standards Of Reporting Trials
CRP	C-reactive protein
CWI	Cold Water Immersion
CWT	Contrast Water Therapy
ECCR	Essai Croisé Contrôlé Randomisé
ECNR	Essai Contrôlé Non Randomisé
ECR	Etude contrôlée randomisée
EPCR	Essai Parallèle Contrôlé Randomisé
ESNM	Electrostimulation Neuromusculaire
EVA	Echelle Visuelle Analogique
FC	Fréquence cardiaque
HAS	Haute Autorité de Santé
Hz	Hertz
IMRAD	Introduction Methods Results and Discussion
IST	Index de saturation tissulaire
LDH	Lactate-deshydrogénase
mA	Milliampère
MVC	Maximal Voluntary Contraction
NFS	Numération de la Formule Sanguine
P30s	Puissance réalisée sur 30 secondes
PAS	Groupe récupération passive
PEDro	Physiotherapy Evidence Database
POMS	Profile Of Mood States
PRISMA	Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses
Rest Q	
Sport	Recovery Stress questionnaire
sRPE	Echelle de perception de l'effort de la séance
STGC	Simulated Team Game Circuit
TENS	Transcutaneous Electrical Nerve Stimulation
TLIM	Temps Limite
TQR scale	échelle Total Quality Of Recovery
VO2	Consommation maximale d'oxygène
YYIR2	Test Yoyo Intermittent Recovery de niveau 2, test d'endurance maximale aérobie

1. INTRODUCTION

La société suisse Compex figure parmi les fabricants historiques d'appareils d'électrostimulation neuromusculaire portables destinés à un public de patients comme de sportifs. Au mois de juillet 2016 (1), son argumentaire de vente vantait l'efficacité et la nécessité de l'électrostimulation neuro-musculaire (ESNM) pour la récupération du sportif, en particulier lorsque le délai entre deux échéances est court, comme c'est le cas dans les sports d'équipe, et de résistance anaérobie en général : « [...] *tout le monde connaît dans son entourage un sportif qui n'a jamais été aussi peu performant, que depuis qu'il a ajouté une sixième (ou xème) séance d'entraînement à sa préparation hebdomadaire. C'est tout simplement parce que l'organisme de cet athlète avait la possibilité de bien assimiler les cinq séances d'entraînement auxquelles il soumettait son organisme, mais que la charge de travail supplémentaire représentée par une sixième séance hebdomadaire prenait de court ses facultés de récupération qui se retrouvaient ainsi «débordées» et plus capables d'assurer l'adaptation de l'organisme [...]»* et de constater, toujours selon la firme, que *«l'électrostimulation s'est imposée au cours des dernières années comme une technique devenue aujourd'hui incontournable [dans le champ de la récupération musculaire]»*.

Ce discours commercial nous amène à nous interroger sur l'efficacité réelle de ces appareils d'ESNM chez le sportif, notamment au sein de sports d'équipe, lors de temps de récupération musculaire post-exercice courts. Des études ont déjà été menées par le passé sur les effets de courants TENS antalgiques sur la récupération, à des intensités de stimulation inférieures au seuil moteur (2–6), mais malgré des résultats encourageants sur la diminution des courbatures, les résultats sur les performances sportives étaient plus mitigés (7). Par ailleurs, une méta-analyse a été menée en 2014 par Malone et al. (8) sur l'ESNM, i.e. à des intensités de stimulation supérieures au seuil moteur, ne donnant aucun avantage à l'ESNM versus récupération active, et des preuves mitigées de son efficacité sur la baisse de lactatémie post-effort versus récupération passive. L'analyse de Malone portait sur des études réalisées entre 1970 et mars 2012, et nous souhaiterions par notre travail analyser les études réalisées ultérieurement sur les effets de l'ESNM sur la récupération du sportif professionnel et amateur.

Il nous faut en premier lieu définir scientifiquement les notions de fatigue et de récupération, ainsi que la manière dont la fatigue et son corollaire la récupération peuvent être évaluées.

Historiquement, la fatigue se définit comme « l'incapacité à maintenir la force requise au cours de l'exécution d'une tâche », et selon Halson (9) citant une définition classique d'Edwards, comme « l'échec dans le maintien de la force requise ou attendue (ou de la puissance requise) ». La fatigue a une dimension dynamique car elle est « une augmentation progressive de l'effort pour la production d'une force désirée, suivie d'une incapacité progressive de maintenir cette force de manière continue ou répétée » (10). Dans une perspective d'objectivité dans un contexte d'étude clinique, notamment lors de tests incrémentaux, Pyne et Martin définissent la fatigue comme « l'incapacité à accomplir actuellement une tâche qui pouvait être accomplie [par le sportif] dans un cadre temporel récent » et comme « toute réduction, induite par l'exercice, et réversible par le repos, de la capacité d'un muscle à générer de la force ou de la puissance » (11).

La fatigue consiste par conséquent en une diminution objective de la performance physique - réversible par le repos - au cours du temps, mais également une sensation subjective d'augmentation de la pénibilité de l'exercice. Au global, la fatigue comporte selon les mots de Marino et al. (2011)(12), repris dans la thèse de Borne (2016)(13) « un élément physique qui peut être mesuré et comparé, et un élément psychique qui échappe à la mesure ».

Chennaoui, précisait en 2004 la thèse devenue classique dans la littérature scientifique d'une origine multifactorielle de la fatigue, entre composante centrale, endocrinienne et périphérique (14,15). Selon Sesboüé et Guinestre (15), la fatigue peut en effet provenir de toutes les étapes de production de la force musculaire, de l'initiation de la commande motrice corticale (au niveau central), en passant par la plaque neuromusculaire, jusqu'à l'effecteur terminal, le muscle (au niveau périphérique). La fatigue centrale se définit pour les deux auteurs par le constat clinique de la réduction de la contraction maximale volontaire (MVC) qui n'est pas associée cependant à une réduction identique de MVC obtenue par stimulation neuromusculaire. La fatigue d'origine centrale engendre une diminution de la contractilité musculaire indépendante des facteurs intramusculaires et métaboliques. Au contraire, la fatigue périphérique s'expliquerait en partie par des phénomènes métaboliques au niveau musculaire, notamment la production d'acide lactique et de lactates, associée à une diminution de pH intracellulaire, impactant de nombreuses activités enzymatiques.

Le rôle de l'acide lactique dans la fatigue périphérique suivant un effort de type anaérobie fait toujours cependant l'objet de débats : ainsi, Shaun Philipps (16) dans son ouvrage intitulé *Fatigue in Sport and Exercise* affirme que les premières études en laboratoire, en établissant un rapport causal entre la concentration en acide lactique sanguin et la fatigue musculaire périphérique, se sont trompées. L'acide lactique serait cependant selon certains auteurs un élément responsable de l'inhibition de la contraction musculaire isométrique, et de l'inhibition de la glycolyse, du fait d'une réduction du pH intramusculaire.

Dupuy et al. (17) précise que lorsque la fatigue musculaire survient, du fait des entraînements et compétitions répétés, elle se manifeste par des lésions musculaires, des inflammations tissulaires, des courbatures, une augmentation de la fatigue ressentie, mais aussi par l'évolution du taux de certains marqueurs biologiques associés aux lésions musculaires, comme la Créatine Kinase (CK) ou associés à l'inflammation (protéine C-réactive, interleukines 6, IL6).

La notion de fatigue chez l'athlète est fortement liée à celle de charge d'entraînement : pour Shona Halson, (9) la charge d'entraînement -et la fatigue qui en résulte- se subdivise en deux types bien distincts : la charge externe en premier lieu, mesure le travail objectivement accompli par l'athlète, i.e. sa performance, indépendamment des qualités intrinsèques de l'athlète. Elle est évaluée par des critères de vitesse, de puissance, de durée d'entraînement, de changements de directions, d'accélération, d'analyse du mouvement dans le temps, de distance parcourue. Le Countermovement Jump (CMJ) ou « squat en contrebas » est une méthode classique, pour évaluer la performance dans les sports d'équipe (18). La charge interne en second lieu, i.e. le versant biologique, physiologique, et psychologique de la récupération, évalué par des marqueurs physiologiques de fréquence cardiaque (FC), par des marqueurs biologiques sanguins de lactatémie, d'urée, de CK, de CRP, par le cortisol et la testostérone, les interleukines, et enfin par des marqueurs perceptuels tels que le Rating of Perceived Exertion, RPE, le Borg-RPE, le Session RPE (sRPE), le Recovery Stress Test for Athletes, et sa version courte Short Recovery and Stress Scale, et par des questionnaires d'évaluation psychologique tels que le POMS, le Rest-Q-Sport (18,19).

Les chercheurs préfèrent dans la pratique utiliser ces tests d'approximation de la performance. Ainsi, ils n'épuisent pas inutilement l'athlète en interférant avec son programme d'entraînement. Ces tests sont des tests simples de mesure de la puissance maximale instantanée (sauts, soulèvements) ou de l'endurance (test à intensité sous-maximale) (20). La mesure de la fatigue et de la récupération chez les athlètes de sports d'équipe à haut niveau

peut se faire par un certain nombre d'indicateurs reposant sur des outils de mesure non invasifs, faciles et rapides à utiliser, et n'imposant pas une dépense physique supplémentaire à l'athlète. Ces critères sont importants dans les sports où la fréquence des compétitions est élevée, comme le football, avec fréquemment deux à trois matchs par semaine, et où la performance de haut niveau attendue de la part des joueurs se doit nécessairement d'être compatible avec une récupération incomplète entre les matchs.

En septembre 2016, un symposium organisé en Allemagne sur le thème « récupération et performance », et dont les propos ont été repris en 2018 dans *l'International Journal of Sports Physiology and Performance* (Kellmann, 2018) (21) définit la récupération du sportif comme un processus temporel à la fois physiologique et psychologique, s'opposant au stress engendré par les entraînements, les compétitions. Evaluer l'avancement de la récupération nécessite d'évaluer d'une part la performance sportive, d'autre part des critères de récupération biologique, et psychologique (21). Dans le temps, la récupération se décline à court, moyen, et long terme, respectivement définis selon Bishop et al. (22) comme la récupération immédiate entre deux mouvements, la récupération entre deux séries d'exercice, et la récupération après un entraînement. Il nous paraît plus intéressant d'étudier la récupération dans ses acceptions à moyen et long terme, car cela correspond il nous semble davantage aux préoccupations des entraîneurs et des sportifs eux-mêmes.

Dupuy et al. (17) précise que lorsque la fatigue musculaire survient, du fait des entraînements et compétitions répétés, elle se manifeste par des lésions musculaires, des inflammations tissulaires, des courbatures, une augmentation de la fatigue ressentie, mais aussi par l'évolution du taux de certains marqueurs biologiques associés aux lésions musculaires, comme la Créatine Kinase (CK) ou associés à l'inflammation (protéine C-réactive, interleukines 6, IL6).*

La différence de performance qui sépare le gagnant d'une épreuve sportive de ses adversaires est souvent marginale dans le sport de haut niveau, et la question de l'efficacité de l'ESNM à visée de récupération musculaire à moyen et long terme au sens de Bishop et al. (22) ne fait pas consensus dans la littérature scientifique ; ainsi, quand Malone et al. (8) publient une méta-analyse comparant les effets de l'ESNM à différentes techniques sur des marqueurs biologiques, perceptuels, et de performance, le manque de preuves en faveur de l'ESNM, notamment sur le critère des performances est manifeste.

L'objectif de ce travail consiste donc à réaliser un état des lieux actuel de l'efficacité de la récupération musculaire par ESNM à moyen et long terme chez le sportif professionnel et amateur, en nous fixant un intervalle de recherche compris entre début mars 2012 et fin mars 2020. Nous formulons l'hypothèse que les contractions musculaires électro-induites par les courants de très basse fréquence et de haute intensité des appareils d'ESNM permettent d'engendrer des contractions musculaires assez importantes pour contribuer à une amélioration de la clairance des métabolites issues de l'effort, notamment des lactates. Nous formulons également l'hypothèse que l'accélération par l'ESNM de la clairance des métabolites a un effet significatif sur la récupération de la performance musculaire

2. METHODES

2.1. Stratégies de recherche

L'initiative de notre revue systématique de littérature a pour origine la lecture de la publication de Malone et al. (2014)(8) qui constitue à ce jour la dernière méta-analyse sur le thème de l'électrostimulation neuromusculaire (ESNM) comme modalité de récupération post-exercice chez le sujet sportif sain. Cette méta-analyse de Malone régulièrement citée par d'autres auteurs n'a cependant pas été incluse dans notre revue, car elle servira de point de comparaison pour discuter de nos résultats et parce qu'elle comportait des études ne s'intéressant pas uniquement à l'ESNM dans des populations saines et sportives, mais aussi dans des populations saines non sportives.

La méthodologie employée pour notre travail suit les recommandations PRISMA (23). Notre recherche s'articule en trois temps distincts : dans un premier temps, deux évaluateurs indépendants, l'auteur du mémoire d'une part, un médecin de la région Grand Est d'autre part, ont conduit un protocole de recherche indépendant parallèlement, i.e. sans échange d'information. Cependant, les bases de données à consulter, les critères d'inclusion-exclusion et la période de recherche avaient fait l'objet d'un accord préalable. Indépendamment, ils ont effectué une sélection sur la base des titres et abstracts en fonction des critères définis. Les bibliographies des articles retenus ont aussi donné lieu à un tri selon les critères définis. Dans un deuxième temps, après retrait des doublons, les deux évaluateurs ont échangé leur point de vue sur la pertinence de chacun des articles retenus pour aboutir à une liste unique.

Dans un troisième temps, l'évaluateur auteur de la présente revue de littérature a analysé les articles retenus pour lecture intégrale, sur leurs résultats, leur qualité méthodologique, leurs biais, et leur niveau de preuve scientifique en fonction des critères de la HAS. L'évaluation méthodologique générale des essais contrôlés randomisés suit la grille CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials) (24) et celle des études de cohorte suit, le cas échéant, la grille de Sara H. Down et Nick Black (25), ancienne, mais conseillée dans le récent ouvrage d'Arnaud Delafontaine « Réussir la démarche de recherche universitaire en kinésithérapie et thérapie manuelle » (26). L'outil que nous utilisons pour l'évaluation spécifique des biais des essais contrôlés randomisés (croisés ou non) est le *Cochrane Collaborations's tool for assessing risk of bias* (27) utilisé par Malone et al.(8).

La procédure de recherche détaillée dans le paragraphe ci-dessous est celle de l'auteur de la présente revue. Notre recherche a été centrée sur le thème principal de l'électrostimulation neuromusculaire (ESNM) comme modalité de récupération post-exercice à moyen terme chez le sujet sportif sain (non blessé) professionnel et amateur, dans les sports individuels et collectifs. Les équations de recherche ont été élaborées par l'auteur après avis du service de documentation de la bibliothèque de santé de Nancy-Brabois.

Les bases de données bibliographiques automatiques investiguées nous ayant permis de collecter des articles en rapport avec notre problématique sont MEDLINE (National library of medicine), Sport Discuss, Web of Science, Cochrane Library, PEDro (Physiotherapy Evidence Database). D'autres sources de données telles que ScienceDirect, Google Scholar, ResearchGate ont également été utilisées. Researchgate n'ayant donné que des résultats déjà obtenus par ailleurs, elle ne figure pas dans le diagramme de flux.

La période de recherche s'est étalée du 8 mars 2012 au 31 mars 2020. Le choix de ces dates s'explique par le fait que la méta-analyse de Malone(8) couvrait la période allant du 1 janvier 1970 au 8 mars 2012.

Les termes suivants ont été combinés pour la recherche dans MEDLINE avec des mots Mesh (Thésaurus MEDLINE) ou avec des variations de différents mots clefs, et les opérateurs booléens AND et OR : « electric stimulation therapy » (Mesh), « recovery of function » (Mesh), « muscles » (Mesh), mais aussi des mots clefs dans les titres et abstracts, au singulier et au pluriel, « electrical stimulation therapy », « electrotherapy », « therapeutic electric stimulation », « therapeutic electrical stimulation », « neuromuscular electric stimulation », « neuromuscular electrical stimulation », « electric stimulation », « electrical stimulation »,

« electronic muscle stimulation » et également « function recovery », « recovery strategy », « recovery protocol », « physiological recovery method », « means of recovery in sports », et enfin « muscle », « muscle recovery », « muscle recuperation ».

L'équation utilisée *in extenso* dans MEDLINE est: ((((((Electric Stimulation Therapy [Mesh:NoExp]) AND Recovery of Function [Mesh]) AND Muscles [Mesh]))) OR (((electric stimulation therapy [Title/Abstract] OR electric stimulation therapies [Title/Abstract] OR electrical stimulation therapy [Title/Abstract] OR electrical stimulation therapies [Title/Abstract] OR electrotherapy[Title/Abstract] OR electrotherapies[Title/Abstract] OR therapeutic electric stimulation [Title/Abstract] OR therapeutic electric stimulations [Title/Abstract] OR therapeutic electrical stimulation [Title/Abstract] OR therapeutic electrical stimulations [Title/Abstract] OR neuromuscular electric stimulation [Title/Abstract] OR neuromuscular electric stimulations [Title/Abstract] OR neuromuscular electrical stimulation [Title/Abstract] OR neuromuscular electrical stimulations [Title/Abstract] OR electric stimulation [Title/Abstract] OR electric stimulations [Title/Abstract] OR electrical stimulation [Title/Abstract] OR electrical stimulations [Title/Abstract] OR electronic muscle stimulation [Title/Abstract] OR electronic muscles stimulation [Title/Abstract] OR electronic muscles stimulations [Title/Abstract] OR electronic muscle stimulations [Title/Abstract]))) AND (((function recovery [Title/Abstract] OR function recoveries [Title/Abstract] OR recovery strategy [Title/Abstract] OR recovery strategies [Title/Abstract] OR recovery protocol [Title/Abstract] OR recovery protocols [Title/Abstract] OR physiological recovery method [Title/Abstract] OR physiological recovery methods [Title/Abstract] OR means of recovery in sports [Title/Abstract] OR mean of recovery in sports [Title/Abstract] OR means of recovery in sport [Title/Abstract] OR mean of recovery in sport [Title/Abstract] AND muscle*[Title/Abstract])) OR muscle recovery [Title/Abstract] OR muscle recoveries [Title/Abstract] OR muscles recoveries [Title/Abstract] OR muscles recovery [Title/Abstract] OR muscle recuperation [Title/Abstract] OR muscles recuperation [Title/Abstract] OR muscles recuperations [Title/Abstract] OR muscle recuperations [Title/Abstract]))) AND ((2012/03/08 [Date - Publication] : 2020 [Date - Publication])).

Sur Pubmed, un filtre de période temporelle a été utilisé, du 8 mars 2012 jusqu'à 2020 inclus.

Une deuxième équation a été utilisée dans une nouvelle recherche sur MEDLINE intégrant le mot « sport » dans les termes de recherche : (("electric stimulation

therapy"[MeSH Terms]) AND recovery of function[MeSH Terms]) AND sports[MeSH Terms].

Pour la base de données Sport Discuss, l'équation de recherche utilisée est la suivante : «electric stimulation therapy » (Tout le texte) AND « recovery » (Tout le texte) AND « sport » (Tout le texte).

Pour les bases de données Web of Science, PEDro, et Science Direct, une même équation a été utilisée, intégrant en plus du terme « sport » le terme « exercice » : « neuromuscular electrical stimulation » AND « recovery » AND « sport » AND « exercice ».

Enfin, trois recherches distinctes ont été réalisées sur Google Scholar, correspondant avec trois équations suivantes : « neuromuscular electrical stimulation » AND « recovery » AND « sport » AND « exercice » ; « neuromuscular electrical stimulation » AND « recovery » AND « sport » AND « creatine kinase » ; « neuromuscular electrical stimulation » AND « recovery » AND « sport » AND « lactate ». Les marqueurs biologiques sanguins que sont les taux en créatine-kinase et en lactates sont en effet régulièrement utilisés dans les études, car objectivant une fatigue et des lésions musculaires.

2.2. Critères d'inclusion

La recherche bibliographique a été réalisée selon des critères d'inclusion et d'exclusion prédéfinis entre les deux évaluateurs.

Nous nous sommes intéressés aux : méta-analyses, revues systématiques de la littérature, essais contrôlés randomisés, études de cohortes, études observationnelles, études transversales et longitudinales. Les revues narratives de littérature et autres publications sans structure IMRAD, comparant différentes modalités de récupération post-effort, ont été exclues. La littérature grise a également été exclue. Nous avons choisi de n'exclure aucun sport, car le football et le rugby sont de fait surreprésentés dans les études, et nous souhaitons avoir un large panel de pratiques sportives, collectives et individuelles, donnant lieu à des efforts aérobie ou anaérobie, d'intensités différentes (endurance, résistance, entraînement par intervalles de haute intensité...), représentatives de différents types de filières énergétiques, d'intensités de fatigue post-effort, et de différentes cinétiques de récupération. Cependant, nous visons la compréhension de l'efficacité de l'ESNM chez un public de sportifs adultes sains professionnels et amateurs avec des entraînements et/ou des

compétitions espacées de 24 à 72h. Cela correspond donc aux études portant sur une récupération à moyen terme.

Critères propres à la population choisie

Inclusion	Exclusion
<ul style="list-style-type: none"> • Adultes et adolescents de plus de 15 ans. • Sexe : hommes et femmes. • Sportifs sains professionnels et amateurs s'entraînant régulièrement. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sportifs adolescents et enfants (<15 ans) • Sportifs amateurs à la fréquence d'entraînement irrégulière, et personnes non sportives. • Sportifs blessés. • Sportifs engagés dans une activité sportive ne nécessitant pas d'importantes qualités physiques (efforts longs, soutenus ou courts, explosifs...)

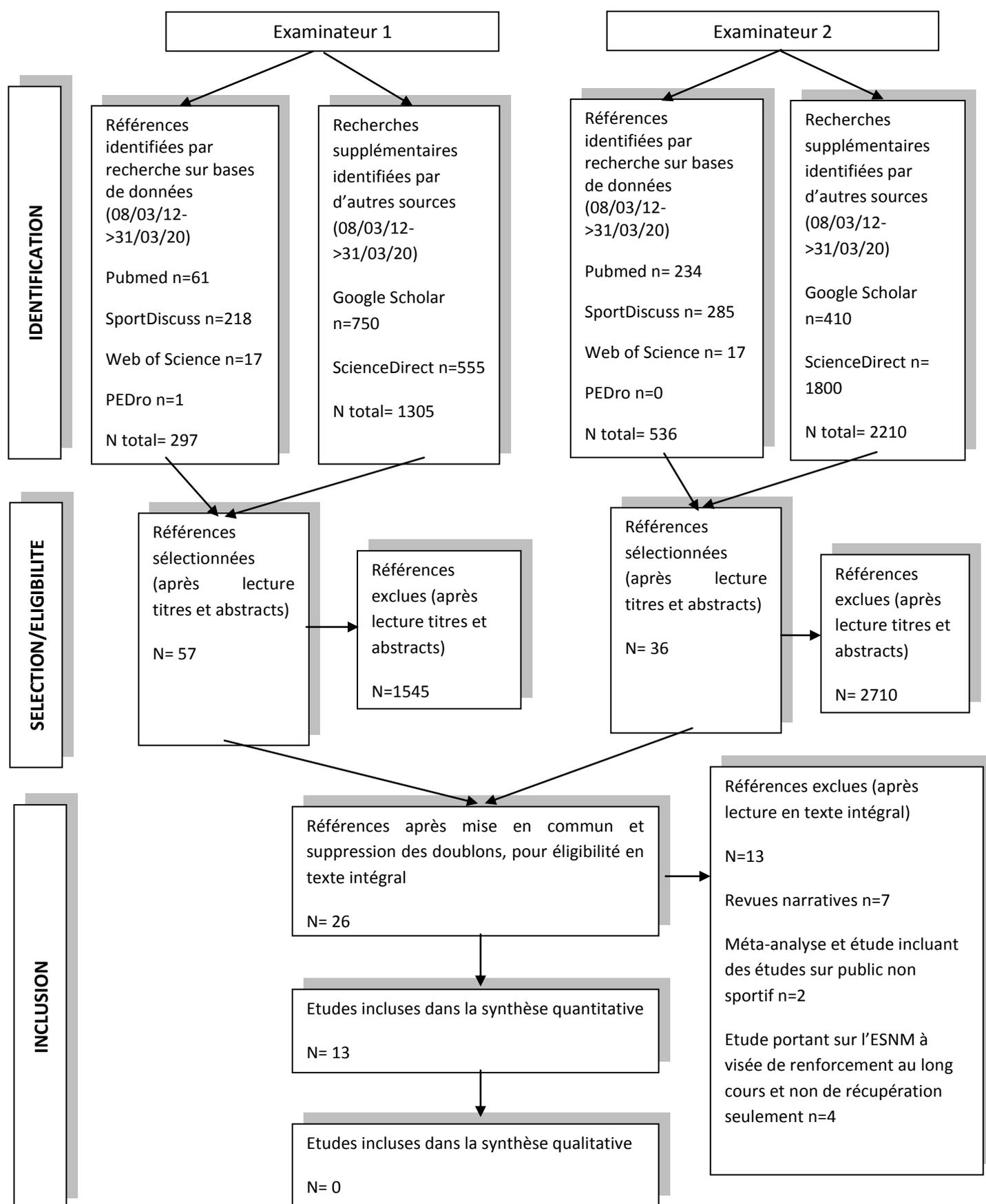
Critères propres aux protocoles étudiés

Inclusion	Exclusion
<ul style="list-style-type: none"> • Protocoles d'ESNM : électrostimulation excitomotrice (intensité dépassant le seuil moteur) visant un effet de pompe musculaire pour la récupération. • Protocoles étudiant les effets de l'ESNM versus d'autres techniques de récupération. • Protocole sur l'ESNM versus autre modalité de récupération (au mn. un groupe récupération passive) 	<ul style="list-style-type: none"> • Protocoles d'électrostimulation antalgique type « Gate Control » ou endorphinique. • Protocoles de renforcement utilisant l'ESNM, en particulier pour viser une meilleure récupération par un renforcement musculaire amélioré en début de saison. • Protocoles étudiant les effets de l'ESNM associé à d'autres techniques de physiothérapie ou de masso-kinésithérapie.

Critères propres aux articles étudiés

Inclusion	Exclusion
<ul style="list-style-type: none"> • -Méta-analyses, revues systématiques de la littérature, études transversales et longitudinales, études de cohorte, essais contrôlés randomisés, essais croisés randomisés. • Articles publiés entre le 8 mars 2012 et le 31 mars 2020 	<ul style="list-style-type: none"> • Revues <i>narratives</i> de littérature sans structure IMRAD. • Articles publiés avant le 8 mars 2012 et articles publiés après le 31 mars 2020. • Littérature grise

Diagramme de Flux



2.3. Méthode d'évaluation

Chaque article a été analysé au travers d'une grille de lecture disponible en annexe II, élaborée selon les critères de la HAS. Les grades et les niveaux de preuve décrits dans ces grilles reprennent ceux de la HAS et permettent une évaluation fine de la qualité méthodologique de l'étude. L'utilisation des directives de la HAS permet la bonne compréhension par tous et une communication facilitée des grades et niveaux de preuve d'une étude. L'évaluation globale de la qualité méthodologique des ECR inclus dans notre revue de littérature repose également sur la grille CONSORT (Consolidated Standards of Reporting Trials) dans sa traduction en français par M. Gedda (24). L'évaluation des risques de biais reposant sur la grille Cochrane déjà mentionnée supra (27) nous a permis de classer les niveaux de risques de biais en trois catégories : risque faible de biais (qualité élevée), risque de biais incertain (qualité moyenne), risque élevé de biais (faible qualité).

3. RÉSULTATS

3.1. Résultats de la recherche

Notre initiation à la revue systématique de la littérature scientifique a porté sur l'analyse de l'efficacité de la récupération post-exercice par électrostimulation neuromusculaire (ESNM) chez le sujet sportif sain de plus de 15 ans, professionnel ou amateur, sur des critères de récupération en termes de performance physique, de physiologie et de biologie - marqueurs sanguins essentiellement - et enfin de récupération psychologique. La recherche initiale a permis, après lecture des titres et abstracts selon les critères d'inclusion et exclusion énoncés auparavant, suppression des doublons et mise en commun par consensus par les deux évaluateurs indépendants, d'obtenir 26 articles éligibles pour lecture intégrale. Finalement, 13 articles ont été retenus après lecture intégrale pour élaborer notre revue, publiés d'octobre 2012 à décembre 2018. Tous les résultats récapitulatifs tirés de l'analyse des articles sont consignés dans des tableaux consultables à l'annexe I. Toutes les fiches de lecture détaillées de ces articles sont consultables à l'annexe II.

Démographie

Ces 13 études de 19 participants en moyenne (9 à 32), dont 16 hommes et 3 femmes, incluaient 241 participants dont 190 hommes (78,8%), 40 femmes (16,6%), et 11 personnes

de genre non précisé (28) (4,6%). Les femmes étaient exclues de 8 études sur 13, les hommes exclus dans 1 étude (29), et 1 étude ne précisait pas le genre des sujets. L'âge moyen des sujets est de 22,6 ans (de 15,5 à 31), la taille moyenne est de 177,41 cm (de 170 à 185,9), et le poids moyen de 74,06 kg (de 62,2 à 86,5). Parmi les 13 études, 4 études (30,8%) incluent uniquement des sportifs professionnels, 1 étude inclut des sportifs professionnels et des amateurs (7,7%), 2 études incluent uniquement des amateurs pratiquant la compétition (15,4%), et enfin 6 études incluent uniquement des amateurs ne pratiquant pas la compétition (46,2%)

Sur les 13 études, on trouve 3 essais parallèles contrôlés randomisés (EPCR), 8 essais croisés contrôlés randomisés (ECCR) et 2 essais croisés non randomisés (ECNR).

Modalités de récupération post exercice physique

Parmi nos critères d'inclusion concernant les protocoles des études à sélectionner pour notre revue de littérature, figurait la comparaison de l'ESNM à au moins une autre technique de récupération, i.e. la récupération passive le plus souvent. En effet, toutes les études prenaient *au moins* en compte la comparaison avec la modalité passive (groupe contrôle). On dénombre 4 études intégrant la récupération active dans les modalités comparées à l'ESNM, 3 études intégrant les vêtements ou bas de compression dans les modalités comparées à l'ESNM, 1 étude intégrant l'immersion en eau froide dans les modalités comparées à l'ESNM, 1 étude intégrant l'humidification de l'air dans les modalités comparées à l'ESNM, 1 étude intégrant le massage dans les modalités comparées à l'ESNM, et 1 étude intégrant le traitement par eaux contrastées dans les modalités comparées à l'ESNM. Le nombre de modalités de récupération comparées à l'ESNM est de 1 pour 3 études, de 2 pour 8 études, et de 3 pour 1 étude (moyenne de 1,85 modalités comparées).

Intervention : appareils et paramètres utilisés

Deux études (9,10) utilisaient l'appareil « Veinoplus » (AdRem Technology, Paris, France), et une étude utilisait l'appareil « Veinoplus Sport », de basse fréquence, du même constructeur (29). Deux études utilisaient un appareil de la marque suisse Compex, modèle « Compex Sport » (11,12) tandis qu'une étude utilisait le modèle « Compex Mi Sport » (31). Une étude utilisait le modèle « Compex Performance » (32) Deux études utilisaient un appareil d'ESNM de la marque australienne « Bodyflow » (28,33) et deux études le modèle « Firefly, OnPulse, Firstkind » (34,35). Enfin, une étude utilisait le modèle « Miha II » de la

marque « Miha Bodytec » (36), un appareil d'électrostimulation corps entier, et une étude utilisait l'appareil « NT2010 » de la marque « Biomedical Research » (37).

La durée d'application des appareils d'ESNM variait de 6 mn à 8h, avec une moyenne de 23 mn, calculée en retirant les deux valeurs extrêmes. Les électrodes étaient placées, sauf dans le cadre de l'étude sur l'électrostimulation corps entier, sur les groupes musculaires principaux des deux membres inférieurs, quadriceps, ischio-jambiers, triceps sural, parfois adducteurs. Une étude prend les muscles de l'avant-bras et du bras comme site de stimulation (38). La fréquence (Hz) du courant est précisée dans 12 études sur 13, seule l'étude de Erten et al. ne précise pas ce paramètre (30). Dans 5 études sur 13, la fréquence a changé en cours de récupération : pour deux études, Jajtner et al. ainsi que Pinar et al, la fréquence part de 9 Hz pour diminuer jusqu'à 1 Hz (dans ces deux études, le temps d'application de l'ESNM est d'ailleurs égal à 24 mn). Pour une étude, la fréquence part de 1 Hz et augmente toutes les 5 mn jusqu'à 1, 75 Hz (39). Dans une étude, la fréquence part de 9 Hz pendant 2 mn puis 8 Hz pendant 2 mn puis 7 Hz pendant 2 mn (38), alors que dans une autre, la fréquence part 9 Hz pendant 7 mn puis 7 Hz pendant 7 mn puis 5 Hz pendant 6 mn (40). Quatre études utilisent des fréquences constantes de 1 ou 2 Hz (33–36). Une étude utilise une valeur de fréquence inhabituelle de 250 Hz (29).

La valeur de l'intensité (mA) est précisée numériquement dans 5 études sur 13, quand 4 études parlent de « contraction visible mais confortable », ou de contraction « tolérable » ou « supportable », et 4 études ne donnent aucune information sur le réglage de l'intensité du courant. Le cas échéant, les valeurs chiffrées sont les suivantes : dans deux études utilisant le même appareil modèle « Firefly » (34,35), l'intensité atteint 27 mA. Dans l'étude de Pinar et al, l'intensité varie de 10 à 20 mA ; dans celle de Finberg et al. , l'intensité est de 11 mA. Dans celle de Malone et al. , l'intensité est de 67,2 +/- 8,4 mA (37).

La durée d'impulsion (μ s) est précisée numériquement dans 8 études sur 13, et varie selon les études de 25 à 400 μ s, soit une moyenne de 267 μ s. Dans 5 études, elle n'est pas précisée (28,30,32,33,40).

Critères de jugement principaux et secondaires

Sur les 13 études, utilisant des protocoles variés, 3 études seulement utilisent un exercice post-récupération pour évaluer les effets de chaque intervention de récupération sur

la performance qui suit. Les 10 autres études n'utilisent pas une forme d'évaluation des critères de jugement qui nécessiterait un exercice post-récupération.

Les critères de jugement des études passées en revue se répartissent en 3 catégories principales que sont les critères biologiques et physiologiques de la fatigue et de la récupération musculaire – marqueurs sanguins, salivaires, données hémodynamiques...- d'une part, les paramètres de performance physique d'autre part, et enfin les critères perceptuels de fatigue et de récupération, tels que le *Rating of Perceived Exertion* (RPE), qui se traduit par « échelle de perception de l'effort », le *Total Quality Recovery* (TQR) Scale mesurant la qualité de récupération, les classements de préférence subjective par l'athlète des différentes interventions de récupération de l'étude, l'échelle visuelle analogique (EVA) de la douleur musculaire perçue.

Dans la première catégorie, on retrouve dans les études les mesures effectuées sur échantillons sanguins, telles que les concentrations en lactate pour 8 études, en créatine-kinase (C.K.) pour 4 études, en Interleukines-6 (I.L.6) pour 2 études, en protéines C-réactives (C.R.P.) pour 2 études. D'autres marqueurs sanguins ne sont respectivement utilisés que par une seule étude : le taux en urée, le taux de myoglobine, le taux en Interleukines-10 (I.L.10), le taux en enzymes lactate-déshydrogénase (L.D.H), la numération de la formule sanguine (N.F.S), le pH sanguin, la concentration en bicarbonate, la saturation de l'hémoglobine. Une seule étude évalue également les concentrations de cortisone et de testostérone salivaire. D'autres critères appartiennent à cette première catégorie : l'échographie musculaire, la température centrale, la pression artérielle, la fréquence cardiaque, l'indice de saturation tissulaire, mais aussi la fréquence cardiaque (FC). Les treize études utilisent au moins l'un des trois indicateurs sanguins que sont les taux de lactates, de C.K, ou de C.R.P.

Dans la deuxième catégorie de critères, i.e. ceux qui évaluent la performance physique, on retrouve de nombreux types de mesures et de tests différents, en fonction de l'ensemble du protocole mis en place : *countermovement jump* (CMJ) mesurant la puissance maximale en W et la hauteur du saut en cm ; nombre de répétitions et puissance des membres inférieurs durant des exercices de squat, de dead-lifts, de barbell split-squat ; force de serrage manuel ; contraction maximale volontaire ; test YoYo, série de sprints sur cyclo-ergomètre, exercices de squats ; évaluation isocinétique de la puissance et de l'endurance ; WinGate Test... Quatre études utilisent le *countermovement jump* (CMJ) (34,36,39,40) comme critère de performance, deux études utilisent le Wingate Test (31,35), et les 7 autres études utilisent des

critères de performance très variés. Onze études utilisent un seul critère de performance, quand une étude en utilise deux (36) et une étude en utilise trois (39).

Dans la troisième catégorie de critères, on trouve les échelles RPE, TQR, le classement des modalités par l'athlète dans l'ordre de préférence, l'évaluation de la douleur post-exercice d'après une échelle visuelle analogique (EVA), les questionnaires de récupération perçue, la perception subjective de la récupération notée sur échelle de Likert. Trois études n'utilisent aucun critère d'évaluation de la récupération psychologique (30,35,37). Quatre études utilisent un seul critère d'évaluation de la récupération psychologique (32,34,39,40). Cinq études utilisent deux critères d'évaluation (28,29,31,33,38) et une seule étude utilise trois critères (36).

3.2. Extraction des données

Nous allons ici dans un premier temps détailler les différences non significatives existant entre les effets des différentes modalités de récupération sur les critères biologiques et physiologiques de récupération, puis dans un deuxième temps sur les critères d'évaluation de la récupération de la performance physique, puis dans un troisième et dernier temps sur les critères d'évaluation de la récupération perceptuelle et psychologique.

3.2.1 Absence de différences significatives

Toutes les absences de différences ou de relations significatives de notre revue de littérature concernent des critères de jugements de la première catégorie définie supra, i.e. les critères de récupération des marqueurs biologiques et physiologiques. Sur les niveaux circulants d'IL-6, marqueurs d'inflammation, dans l'essai croisé contrôlé randomisé (ECCR) de Finberg et al. (33), aucune différence significative n'est retrouvée entre les groupes ESNM, traitement par eaux contrastées, et groupe contrôle ($p=0.349$). Pas d'influence du type de modalité de récupération sur la cinétique des IL-6 dans le temps ($p=0.176$), mais il existe un effet temporel des IL-6 pour chaque type de modalité ($p<0.05$), montrant une augmentation significative à 3h post-exercice. Cependant, les variations relatives des niveaux d'IL-6 par rapport aux niveaux initiaux ne sont pas significativement différentes entre les trois modalités. Dans l'étude de Jajtner et al., aucune différence significative sur le taux d'IL-6 n'a été relevée entre les modalités ESNM, immersion en eau froide, comparativement au groupe contrôle ($p=0.341$), et aucune différence significative pour l'IL-10 ($p=0.127$) (32). Pour l'IL-10, un effet significatif du temps sur les mesures ($p<0.001$) avec des concentrations plus élevées à 30

mn post-exercice qu'au niveau pré-exercice ($p=0.002$), qu'au niveau immédiatement post-exercice ($p=0.013$), qu'à 24h ($p=0.002$) et 48h ($p=0.040$). Des analyses statistiques ont montré qu'à 30 mn post-exercice, les niveaux d'IL-10 étaient probablement plus élevés avec l'immersion en eau froide qu'avec l'ESNM, mais que la diminution de ces niveaux à 48h était ensuite probablement plus élevée également avec l'immersion en eau froide qu'avec l'ESNM et le groupe contrôle. L'ESNM et l'immersion en eau froide n'ont ensemble aucune interaction significative avec le niveau de myoglobine, que l'étude de Jajtner et al. est la seule à mesurer ($p=0,168$). Des augmentations significatives de myoglobine sont observées dans tous les groupes entre le moment pré-exercice et le moment post-exercice ($p=0.001$), puis les concentrations de myoglobine continuent à augmenter jusqu'à 30 mn post-exercice ($p<0.001$), avec des augmentations respectivement « probablement » et « très probablement » plus grandes pour le groupe ESNM et le groupe immersion en eau froide, comparativement au groupe contrôle. L'étude de Govus et al, sur des skieurs de fond de niveau élite, seule étude à mesurer l'évolution de la concentration d'urée, n'a montré aucune différence significative sur la cinétique de cette variable dans le temps, à 8h, 20h, 44h et 68h post-effort que ce soit pour le groupe ESNM, le groupe compression, ou le groupe contrôle. Les valeurs d'urémie ont augmenté à chacune des prises de mesure dans le temps ($p<0,05$), avec un maximum à 8h post-exercice.

Concernant le cortisol et la testostérone, deux paramètres biologiques évalués dans l'étude de Taylor et al. , il n'y a aucun effet de l'utilisation de l'appareil d'ESNM Firefly ($p>0.05$), malgré un effet temporel significatif (respect. $p=0.016$ et $p<0.001$).

Concernant l'influence de l'ESNM (appareil Veinoplus) sur le niveau de l'enzyme lactate-déshydrogénase (LDH) et sur la numération de formule sanguine (NFS), mesurées uniquement dans l'étude de Bieuzen et al. (39), il existe un effet principal temporel pour le critère LDH ($p<0.009$), mais il n'existe en revanche aucun effet de la modalité de récupération sur la cinétique de la LDH ($p=0.81$). Pour la NFS, entre les groupes ESNM et groupe contrôle, aucune différence n'a été observée pour les valeurs des leucocytes, neutrophiles, monocytes, bien qu'elles aient augmenté à 1h post-exercice pour retrouver ensuite rapidement leur valeur basale (p entre <0.001 et 0.02).

Concernant les effets comparés de l'ESNM et de la récupération par eaux contrastées sur la concentration en protéines C-réactives (CRP), l'étude de Finberg et al. (33) constate qu'il n'existe aucune interaction significative entre le type de récupération et le niveau de CRP ($p=0.949$), et entre le type de récupération et la cinétique temporelle des CRP ($p=0.703$).

Par ailleurs, entre les trois modalités évaluées par Finberg, il n'existait pas de différence significative dans les variations relatives en CRP depuis leur niveau basal respectif ($p=0.467$). Par contre, il existe un effet temporel significatif pour chacune des trois modalités, montrant un niveau en CRP à 24h post-exercice significativement plus élevé que celui enregistré en pré-exercice (p allant de 0.006 à $p<0.05$). Pour Jatner et al.(32), aucune interaction significative n'existe entre les modalités de récupération et le niveau des variations de CRP ($p=0.216$).

Jajtner et al (32) a réalisé la seule étude, parmi les treize de notre revue, qui utilise l'échographie pour mesurer les sections transversales des muscles droit fémoral et vaste latéral de la jambe dominante des sujets et évalue la qualité du muscle par analyse de l'échelle des gris à l'image. Concernant les variations d'écho-intensité du droit fémoral dans le temps, aucune différence significative n'existait entre les groupes ESNM et immersion en eau froide ($p=0.893$), mais pour une modalité de récupération donnée, l'écho-intensité du droit fémoral est significativement plus grande en post-exercice immédiat qu'en tout autre instant ($p<0.001$). Par ailleurs, les diminutions d'écho-intensité du droit fémoral depuis le temps post-exercice jusqu'à 48h sont probablement plus grandes avec l'immersion en eau froide qu'avec l'ESNM et le groupe contrôle. Une augmentation significative de la surface de section a été constatée, tous groupes confondus, en post-exercice immédiat ($p<0.001$), comparativement à la mesure pré-exercice, à 30 mn, à 24 et 48h. Cependant, globalement, aucune interaction significative ($p=0.336$) et aucun effet principal de groupe n'ont été observés ($p=0.776$).

L'écho-intensité du vaste latéral a significativement diminué pour tous les groupes du post-exercice immédiat à 30 mn post-exercice ($p=0.012$). En post-exercice immédiat et à 30 mn post-exercice, l'écho-intensité du vaste latéral était significativement plus élevée ($p<0.001$) comparée à la mesure pré-exercice, à 24h, et à 48h. Cependant, globalement, aucune interaction significative entre l'ensemble des modalités de récupération et l'écho-intensité du vaste latéral ($p=0.562$) ni aucun effet principal d'une modalité en particulier n'ont été observés ($p=0.468$).

Concernant la mesure de la saturation tissulaire, que seule l'étude de De La Camara prend en compte (36), il n'existe aucune différence significative entre les différentes modalités de récupération évaluées (ESNM corps entier, récupération active, récupération passive) lors des différentes mesures au cours du temps (à 5mn et $p=0.261$, 12 mn et $p=0.267$, et 20 mn de récupération, $p=0.141$). Cependant, l'ESNM corps entier était la seule

méthode dont l'évolution de la saturation tissulaire a montré des différences significatives, entre le niveau basal et le niveau post-récupération ($p=0.023$).

Concernant la température corporelle que seule l'étude de De La Camara citée supra prend en compte, il n'existe aucune différence significative entre les différentes modalités de récupération évaluées, que ce soit à $t= 5$ mn ($p=0.293$), à $t=12$ mn ($p=0.078$), à $t=20$ mn ($p=0.786$). Des différences significatives ont été retrouvées entre les températures basales et celles mesurées après la récupération, quelle que soit la modalité de récupération.

3.2.2 Présence de différences, relations significatives ou différences probables sur des critères de jugement biologiques et physiologiques

Nous allons dans cette partie nous intéresser aux critères de jugement sur lesquels une ou plusieurs modalités de récupération ont eu un effet statistiquement significatif, et nous ne détaillerons que les études qui font état d'une relation significative. Ces critères de jugement appartiennent aux trois catégories définies supra.

De façon générale, sur l'ensemble des 13 études, des différences significatives, en positif comme en négatif, ont été retrouvées entre les modalités de récupération pour les critères de jugement suivants:

- la lactatémie pour 2 études sur 8 (et deux études où l'ESNM est plus efficace ou moins efficace que les autres modalités, mais sans caractère statistiquement significatif).
- la concentration en CK dans 1 étude sur 4.
- le pH dans 1 étude sur 1.
- les bicarbonates HCO_3^- dans 1 étude sur 1.
- la tension artérielle dans 1 étude sur 1 (ESNM plus efficace que autres modalités mais sans caractère statistiquement significatif)
- la fréquence cardiaque dans 2 études sur 6.
- l'indice de saturation tissulaire dans 1 étude sur 1.
- l'échelle Total Quality Recovery (TQR) dans 3 études sur 5.
- l'échelle de Perception de l'Effort (Rating of Perceived Exertion, RPE) dans 2 études sur 5.
- la préférence de la modalité de récupération dans 1 étude sur 2.
- la douleur musculaire dans 1 étude sur 5.
- la performance physique dans 7 études sur 13.

Le tableau I illustre la présence ou l'absence de relations significatives entre les modalités de récupération et les critères de jugement que nous avons définis.

Tableau I : Effets de l'ESNM et autres méthodes de récupération sur critères de jugement

Effets de l'ESNM sur les mesures par rapport aux autres méthodes de récupération dans les différents articles		Effets de l'ESNM sur les mesures effectuées																							
		Mesures biologiques (sang, salive)										Echographie pour voir la variation de constitution du muscle													
		L	U	T	C	CK	M	IL10	IL6	LDH	NFS	pH	Bic	CRP	Ech	Sat	T°	TA	FC	QR	EP	PR	D	P	
Bieuzen,2012	PAS					NS				NS	NS														NS +
Pinar,2012	msg	NS																	NS						NS
	PAS	NS																	NS						NS
Finberg,2013	CWT							NS						NS					NS						NS
	PAS							NS						NS					NS						+
Argus,2013	COMP																								
	HUM																								
Bieuzen,2014	PAS	+?																							NS
	ACT	-?																							+?
Malone, 2014	PAS	+?																							+?
	ACT	-																							-
Jaitner,2015	PAS	NS																							NS
	PAS					NS	NS	NS°	NS					NS	NS										NS
Taylor,2015	PAS					NS	NS*	NS	NS																NS
	PAS					NS	NS	+																	+
Warren,2015	ACT	NS																							-
	PAS	+																							NS
Erten,2016	COMP	+																							NS
	PAS	NS																							NS
Govus,2018	COMP	NS																							+
	PAS	NS				NS																			NS
De La Camara,2018	ACT	NS																							NS
	PAS	NS																							NS

Légende : L=Lactate ; U=Urée ; T=Testostérone ; C= Cortisone ; CK= Créatine Kinase ; M= Myoglobine ; IL10= Interleukine 10 ; IL6 = Interleukine 6 ; Bic= Bicarbonate ; Echo= Echographie pour voir la variation de constitution du muscle ; Sat = saturation en hémoglobine ; T° = Température ; TA = pression artérielle ; FC = fréquence cardiaque ; QR = qualité de récupération ; EP = Effort perçu ; PR = Préférence de récupération ; D = Douleur ; P = performance ; IST=Indice de Saturation Tissulaire ; NS = Différence Non Significative ; + = Différence Significative montrant un effet de récupération de l'ESNM **plus** efficace que l'autre méthode ; - = Différence Significative montrant un effet de récupération de l'ESNM **moins** efficace que l'autre méthode.

+?= différence montrant un effet de récupération de l'ESNM plus efficace que l'autre méthode, mais significativité non mentionnée. -?= différence montrant un effet de récupération de l'ESNM moins efficace que l'autre méthode, mais significativité non mentionnée

Case bleue vide: l'information n'est pas donnée dans l'étude.

3.2.2.1 Lactatémie

Argus et al. (28) ont, dans leur étude, évalué l'efficacité de quatre méthodes de récupération sur une performance répétée de trois sprints à vélo, chez onze cyclistes très entraînés, avec une durée de récupération de 20 minutes entre chaque session de sprints : la lactatémie est relevée à l'issue de l'échauffement avant le sprint S1, puis durant chacune des deux phases de récupération à t0, t10 mn, et à t20 mn. Avant S1, il n'existe pas de différence significative entre les groupes ESNM, humidification, et contrôle. En période de récupération 2, la lactatémie des groupes ESNM et humidification est réduite de respectivement 4.9 +/- 6.9% et 4.3 +/- 7.9% par rapport au groupe contrôle, avec un effet potentiellement bénéfique de ces deux méthodes, mais sans différence significative cependant.

Pinar et al. (31) comparent l'efficacité du massage et de l'ESNM auprès de 12 joueurs réguliers de football et basketball après six blocs standardisés à haute intensité de 30 secondes sur cyclo-ergomètre. Les critères de jugement étaient la FC, l'échelle TQR, la puissance pendant les Wingate Tests initiaux et finaux, la lactatémie au repos puis 5 mn après les six blocs, après les 24 mn de récupération, et après le Wingate Test final ; et l'échelle d'évaluation de l'effort perçu (RPE). La récupération, pour le massage comme pour l'ESNM, durait 24 mn. Il n'existe aucun effet principal significatif quelle que soit la modalité de récupération ($p=0.186$) et aucune interaction significative entre le type de récupération et les niveaux de lactatémie aux différents temps ($p=0.493$).

Dans l'étude de Bieuzen et al. (29), chez quatorze handballeuses de niveau national et international, on accorde 15 mn de récupération entre deux efforts épuisants (deux « YoYo test » de niveau 2) pendant lesquels une des trois modalités de récupération (ESNM basse fréquence, récupération active, récupération passive) est mise en place. A t12 mn et t15 mn de récupération, la concentration en lactates était respectivement très probablement et presque certainement plus basse dans le groupe récupération active que dans le groupe récupération passive, avec une différence standardisée large, montrant une meilleure efficacité de la modalité active versus passive. A t15 mn, la variation de lactate était plutôt plus faible pour l'ESNM basse fréquence que pour la récupération passive, avec une différence standardisée modérée. Toujours à t15 mn, il existait une concentration de lactates très probablement plus élevée pour l'ESNM basse fréquence que pour la récupération active, et une lactatémie presque certainement plus basse pour l'ESNM basse fréquence que pour la récupération passive.

Pour Malone (37), dans le cadre de la récupération à court terme chez le cycliste entre deux efforts à intensité maximale aérobie, la lactatémie était significativement plus faible pour la récupération active que pour l'ESNM ou la récupération passive ($p < 0.001$). En revanche, il n'existait aucune différence de lactatémie entre ESNM et récupération passive, à tout moment de la récupération.

Pour Cochrane (35), dont le protocole de 30 mn de récupération chez 9 sujets moyennement sportifs se fait entre deux Wingate tests de 30 secondes, il existe une diminution significative de la lactatémie au cours des 30 mn de récupération ($p < 0.001$) mais l'ESNM n'a pas accéléré la clairance des lactates par rapport à la récupération passive.

Pour Warren (38), qui évalue l'efficacité de trois protocoles de récupération (passif, actif, et ESNM) chez 21 lanceurs de baseball, durant les 6 mn de récupération entre chaque manche d'un match simulé qui en comprend cinq, la lactatémie évolue dans le temps pour les trois méthodes ($p < 0.001$) mais elle ne diminue pas significativement par l'effet de la récupération passive ($p = 0.684$) ou active ($p = 0.04$). En revanche, elle diminue significativement du fait de l'ESNM ($p < 0.001$).

Erten (30) évalue l'efficacité, chez 20 volleyeurs (11 hommes, et 9 femmes) entraînés, des vêtements de compression et de l'ESNM, sur des critères de puissance et d'endurance des fléchisseurs plantaires et dorsaux des deux chevilles, et sur le critère de la lactatémie. Sur les 30 mn que durait la récupération, la lactatémie était mesurée à t0 mn, t3 mn, t5mn, t15 mn, et t30 mn. Il n'existe pas de différence significative de lactatémie entre le groupe ESNM et le groupe bas de compression.

Chez De La Camara (36), qui utilise l'ESNM corps entier, en la comparant avec récupération active et passive sur une durée de récupération de 20 mn, nous n'observons aucune différence significative des trois modalités de récupération sur le critère lactatémie, au temps t5 mn, t12 mn, et t20 mn. L'ESNM corps entier a une clairance des lactates plus longue que les deux autres modalités, et elle est ici la seule méthode pour laquelle le retour à des valeurs quasi basales de lactatémie est impossible.

3.2.2.2 Créatine-kinases (C.K)

Chez Bieuzen et al. (39), les niveaux des enzymes musculaires, dont les C.K, indiquant des lésions musculaires, sont évalués 1h et 24h après l'effort intermittent épuisant. Il existe un effet temporel sur le cours du niveau des CK ($p < 0.001$) mais en revanche, il n'existe aucun effet significatif des différentes modalités de récupération sur ce niveau de CK

($p=0.67$). De même, chez Jatjtner et al. (32), malgré une augmentation significative des CK entre le temps pré-exercice et le temps post-exercice à 24h et 48h ($p<0.001$), il n'existe aucune différence significative d'évolution du niveau des CK entre les groupes ($p=0.479$) ou d'interactions significative entre les groupes immersion en eau froide, ESNM, et groupe contrôle ($p=0.405$) sur ce paramètre. Chez Govus (40), dont les paramètres sont mesurés 8h, 20h, 44h, et 68h après la compétition de ski de fond, il n'existe pas d'interaction entre le type de modalité de récupération et la cinétique des CK dans le temps, chez les hommes et les femmes ($p>0.05$).

Dans l'étude de Taylor et al. (34), il y a eu un effet temporel significatif ($p<0.001$) et surtout une interaction significative entre la modalité utilisée et l'évolution temporelle des CK ($p<0.001$). Dans le groupe contrôle et le groupe ESNM Firefly, les concentrations en CK étaient similaires au niveau basal, puis immédiatement après le sprint, puis à 2h post-sprint, mais étaient significativement

D'après Taylor et al. (34), en revanche, l'ESNM permet une concentration CK à 24h post-sprint significativement plus basse ($p<0.001$) chez 28 sportifs professionnels masculins, dont 16 footballeurs et 12 rugbymen.

3.2.2.3 Bicarbonates HCO_3^- et pH

L'étude de Bieuzen et al. (29) est la seule étude à considérer le pH sanguin dans ses critères de jugement. A partir de la troisième minute de récupération, et jusqu'à la fin de cette dernière, les valeurs de pH et de bicarbonates étaient respectivement « probablement » et « presque certainement » plus élevées pour l'ESNM et la récupération active que pour la modalité passive, avec une différence standardisée large. Exceptée une différence très probable dans la valeur du pH entre ESNM et récupération active à 3 mn, il n'y a eu aucune différence claire entre ces deux modalités pour les mesures suivantes, y compris pour les valeurs de HCO_3^- .

3.2.2.4 Pression artérielle

De La Camara (36), seul auteur à considérer le critère pression artérielle, observe des différences significatives de pression artérielle systolique entre ESNM corps entier, récupération active, et passive à t5 mn ($p=0.004$), t12 mn ($p=0.002$). Ces différences ont été observées entre l'ESNM corps entier et la récupération passive à t5 mn ($p=0.008$), à t12 mn

($p=0.008$), et entre la récupération active et la récupération passive à t5 mn ($p=0.021$) et t12 mn ($p=0.012$). Cependant, il faut nuancer ce résultat, car aucune différence significative n'a été observée à la fin de la période de 20 mn de récupération ($p=0.062$). Concernant la pression artérielle diastolique, aucune différence significative n'était observée pendant toute la récupération pour les trois méthodes (t5 mn $p=0.097$; t12 mn $p=0.895$; t20 mn $p=0.247$).

3.2.2.5 Fréquence cardiaque (FC)

Dans deux études sur six, celles de Bieuzen (29) et de Malone (37), il existe respectivement une différence « presque certaine » ou « probable » entre les techniques de récupération, et une différence statistiquement significative sur le critère de la FC. Chez Bieuzen, les valeurs moyennes de FC sont « presque certainement » plus faibles avec la récupération passive et avec l'ESNM qu'avec la récupération active. La FC moyenne était probablement plus faible avec l'ESNM qu'avec la récupération passive, mais la différence entre les deux modalités était faible. Chez Malone, à t10 mn, t15 mn, t20 mn, t25 mn et à la fin de la récupération, la fréquence cardiaque était significativement plus faible avec l'ESNM et la récupération passive qu'avec la récupération active ($p<0.001$). A t=5mn, la fréquence cardiaque était significativement plus faible avec l'ESNM ($p=0.017$) et la récupération passive ($p<0.001$) qu'avec la récupération active. Il n'existe par contre pas de différence significative entre récupération passive et ESNM, sauf à t5mn et à t15mn, où la FC du groupe ESNM est légèrement plus élevée. Chez Warren (38), il n'existe pas de différence significative de l'évolution de la FC dans le groupe ESNM par rapport aux modalités actives et passives. Cependant, la FC était significativement plus faible pour la modalité passive que pour la modalité active ($p=0.006$) pendant la période de récupération. Chez De La Camara (36), il n'existe aucune différence significative au cours de la récupération entre la FC du groupe ESNM et celle des autres groupes.

3.2.2.6 Indice de saturation tissulaire et VO2

L'étude de Bieuzen et al. (29) est la seule des treize études à étudier l'influence de l'ESNM sur le critère de l'indice de saturation tissulaire (IST) : le pourcentage moyen d'IST était presque certainement plus faible après ESNM et récupération passive qu'après récupération active. Cela dit, il n'existe pas de différence significative. Pas de différence statistique entre l'ESNM et le mode passif sur le critère d'IST.

Concernant la VO₂, pour Bieuzen, en 2014, il n'existe aucune différence significative entre les modalités ESNM et passive. Les valeurs moyennes de VO₂ pendant la récupération étaient presque certainement plus faibles en ESNM et récupération passive qu'en récupération active.

3.2.3 Présence de différences, relations significatives ou différences probables sur des critères de jugement de performance physique

Sept études sur les 13 de notre revue ont des différences statistiquement significatives sur le critère la performance physique : Bieuzen (2012) (39), Finberg (33), Bieuzen (2014) (29), Malone (37), Taylor (34), Cochrane (35), Erten (30).

Chez Bieuzen (2012), il existe une interaction entre la modalité de récupération et l'évolution de P30s au cours du temps ($p=0.04$) : à 1h post-récupération, des différences significatives de valeurs de P30sec existent entre les modalités ($p=0.03$), la P30s après ESNM étant plus élevée qu'après récupération passive. En revanche, aucune différence significative n'a été observée à aucun autre moment entre l'ESNM et la récupération passive ($p>0.05$). Il n'existe pas d'interaction entre la modalité de récupération et l'évolution dans le temps des variables de Contraction Maximale Volontaire (MVC en anglais) ($p=0.23$) et pour le Countermovement Jump (CMJ) ($p=0.74$).

Chez Finberg (33), on ne trouve aucune différence significative sur le critère de jugement principal de la performance appelé Simulated Team-Game Circuit (STGC) – somme des temps réalisés à des sprints de 20m- entre le groupe ESNM, le groupe CWT, et le groupe contrôle ($p>0.05$). En revanche, il existe une différence significative lors de la performance réalisée à 24h post-récupération, entre les trois modalités de récupération ($p<0.05$), en particulier une différence significative entre l'ESNM et le groupe contrôle ($p=0.004$), avec des sprints plus rapides pour l'ESNM. Pas de différence significative cependant entre le groupe ESNM et le groupe CWT ($p=0.058$).

Chez Bieuzen (2014), le critère de jugement de performance est le test YYIR2 : les différences de performance entre le premier test YYIR2 et le second test YYIR2 sont respectivement très probablement inférieures et probablement inférieures dans le groupe ESNM basse fréquence et dans le groupe actif, en comparaison au groupe passif, avec une différence standardisée considérée respectivement comme modérée, et faible. De plus, l'analyse statistique suggère que l'ESNM basse fréquence a un effet bénéfique 65% plus important que la récupération active.

Chez Malone (37), le critère de performance après un effort épuisant sur cyclo-ergomètre est le temps nécessaire (TLIM) constaté lorsque la cadence de pédalage est inférieure à 70 tr/mn. Il indique le délai pour que l'épuisement du sujet survienne. TLIM est significativement plus court pour l'ESNM que pour la récupération active ($p=0.016$), mais aucune différence significative n'existe entre ESNM et récupération passive pour TLIM, ou entre modalités passive et active.

Chez Taylor (34), lors du Countermovement Jump (CMJ), la puissance maximale est significativement plus élevée à 2h et 24h post-sprint après ESNM versus groupe contrôle ($p<0.001$). De même, 24h après le sprint, la hauteur de saut était significativement meilleure après ESNM qu'après récupération passive ($p<0.001$).

Chez Cochrane (36), il n'y a eu aucun effet principal ou d'interaction de l'ESNM sur les paramètres de performance ($p>0.05$). Cependant, il existe un effet du traitement ESNM car la puissance moyenne a été significativement moins élevée ($p=0.042$) après ESNM comparativement au traitement passif.

Chez Erten (30), dans le groupe des femmes, il y a eu une amélioration significative des mesures de force et de puissance pour la flexion plantaire droite ($p<0.01$), la flexion dorsale droite ($p<0.1$), la flexion plantaire gauche ($p<0.1$), après ESNM, comparativement au groupe contrôle. Chez les hommes, le groupe ESNM a eu une augmentation significative de la force et de l'endurance pour la flexion plantaire droite ($p<0.1$) et pour la flexion plantaire gauche ($p<0.1$) par rapport au groupe contrôle

3.2.4 Présence de différences, relations significatives ou différences probables sur des critères de jugement perceptuels

3.2.4.1 Total Quality Recovery (TQR) Scale et autres évaluations de la récupération perceptuelle

Finberg (33) met en place un protocole appelé Simulated Team-Game Circuit (STGC) où le sujet doit réaliser 6 séquences de 15 mn autour d'un anneau d'athlétisme, entrecoupées de 5 mn de récupération. A la fin de chaque période de récupération de 5 mn et à 24h post-exercice, avant le second STGC, les sujets notent leur récupération perçue par le biais de l'échelle TQR, allant de la cotation 6 (très très faible récupération) à 20 (très très bonne récupération). L'évaluation par les sujets, de la récupération perceptuelle avant le second STGC à 24h post-récupération a montré que la récupération perceptuelle 24h après ESNM est significativement meilleure qu'après la CWT ou le groupe contrôle ($p<0.05$). Argus (28)

compare l'effet de 4 stratégies de récupération dont l'ESNM sur la performance réalisée pendant trois sprints répétés d'intensité maximale. Les récupérations d'une durée de 20 mn avaient lieu après le sprint 1 et après le sprint 2, et les scores TQR relevés à t0 mn, t10 mn et t20 mn après les sprints 1 et 2. Seule une comparaison du TQR pendant la 2^{ème} récupération, entre groupe ESNM et groupe contrôle, a suggéré qu'il existait une meilleure récupération perçue pour le groupe ESNM. Cependant, il ne s'agit pas d'une différence significative. Bieuzen (29) propose une échelle de Likert à 10 points en réponse à la question «à quel point avez-vous la sensation d'avoir récupéré après cette intervention de récupération ? ». La perception de la récupération après ESNM et récupération active était « presque certainement » plus élevée qu'après une récupération passive, mais sans différence significative cependant.

3.2.4.2 Evaluation de l'effort perçu (RPE)

Chez Finberg (33), le RPE était enregistré à son niveau basal, à la mi-temps, puis à la fin du STGC par une échelle perceptuelle de Borg, échelonnée de 6 (très très faible récupération) à 20 (très très bonne récupération). Il ne note pas d'effet temporel sur l'évolution du RPE pour les trois modalités étudiées, ni d'effet de la modalité de récupération elle-même sur la valeur du RPE ($p>0.05$). A 24h post-récupération, il n'existe pas d'effet sur le RPE entre les différentes modalités ($p>0.05$).

Pour Warren (38), il existe chez des lanceurs au baseball une différence significative dans l'évolution du RPE dans le temps pour les trois modalités évaluées ($p=0.01$). Les analyses révèlent un déclin significatif du RPE pour la récupération passive et l'ESNM ($p<0.01$), mais pas pour la récupération active ($p=0.067$)

3.2.4.3 Classement des modalités par ordre de préférence par l'athlète

Dans l'étude de Warren (38), sur les trois méthodes évaluées, l'ESNM est la méthode de récupération préférée par 18 athlètes sur 21, alors que la récupération passive est la seconde méthode préférée pour 15 athlètes sur 21.

3.2.4.4 Douleurs musculaires et courbatures

L'étude de Taylor (34) montre une baisse significative des douleurs musculaires perçues dans le temps ($p < 0.001$) et un effet significatif des modalités utilisées sur l'évolution temporelle des douleurs musculaires ($p = 0.015$). Les douleurs musculaires perçues étaient d'un niveau similaire au niveau basal ($p = 0.364$), et immédiatement post-sprint ($p = 0.732$), mais étaient significativement plus faibles après ESNM à 2h ($p = 0.031$) et 24h post-sprint ($p = 0.023$).

4. DISCUSSION

4.1 Biais des études incluses dans la revue de littérature

L'ensemble des biais détaillés des articles de notre revue sont résumés dans le tableau présenté en annexe I. Comme cela a déjà été évoqué, nous avons utilisé la grille Cochrane (27) pour évaluer les risques de biais des 13 études. Pour aucune, nous n'avons la garantie qu'elles respectent le double aveugle, ni le triple aveugle. Aucune des études n'utilise un leurre, rendant le double aveugle impossible par définition. Notre population étant composée de sportifs, parfois de très haut niveau, et considérant le principe même du traitement par ESNM, il est fort probable qu'un leurre n'aurait pas pu tromper les sujets. Le triple aveugle supposerait dans nos études des prises de mesure de chronométrie, de goniométrie, d'imagerie échographique par exemple réalisées par des professionnels qui ne connaissent pas la méthode de récupération attribuée à chaque participant.

Le biais de génération de la randomisation est présent dans 10 études sur 13, notamment car nombre d'études recrutent des sportifs volontaires. Le biais de dissimulation de l'allocation est présent chez Erten et al (21), car ils imposent la répartition des sujets dans les groupes dès le début de l'essai. Cette étude avec 4 biais certains, et 2 biais incertains, a la plus mauvaise qualité méthodologique de notre revue. Bieuzen et al, tout comme Finberg, Bieuzen et Borne, Jajtner, Cochrane, Warren, Govus, De La Camarra (29,32,33,35,36,38-40) n'indiquent pas la procédure de dissimulation de l'allocation, d'où un biais indéterminé.

Le biais de performance (absence de double aveugle) est présent dans toutes les études, et le biais de détection (absence de triple aveugle) est lui indéterminé dans toutes les études. Le biais d'attrition est indéterminé dans 9 études, où le nombre de perdus de vue n'est

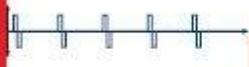
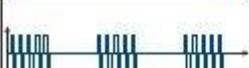
pas précisé. Le biais de notification n'apparaît que chez Jajtner (32) car ses résultats d'hématocrite et d'hémoglobine n'apparaissent pas dans l'étude.

4.2 Paramètres de l'ESNM

Les paramètres utilisés par les différents protocoles d'ESNM sont très variés et sont résumés dans l'annexe I. Nous devons constater la grande hétérogénéité des paramètres utilisés au cours des séances de récupération par ESNM, ce qui incite à la prudence dans l'interprétation des résultats généraux d'études dont on a vu qu'elles étaient de qualités méthodologiques très variables. Crépon et al. (41) rappellent dans un traité EMC les caractéristiques principales du courant électrique qui nous intéresse ici : d'état variable, bidirectionnel (dépolarisé), symétrique à moyenne nulle (patients porteurs de pièces métalliques peuvent être traités, pas de brûlure, intensité maximale réglée selon le confort du patient, pas de limite théorique de durée de séance). Les critères de réglage des impulsions conditionnent le but thérapeutique recherché : « la stimulation et la perception par le patient sont directement proportionnelles à la durée (ms) et à l'intensité de l'impulsion (mA) » (41), tandis que la fréquence (Hz) « définit les propriétés biologiques des impulsions ». Nous ne détaillons pas ici davantage les notions de pente (ou durée d'établissement), de rapport intensité-durée, ou de direction du courant. En revanche, nous précisons la notion de modulation, définie par Crépon et al. comme « une variation des paramètres » de durée, d'intensité, de fréquence du courant, la wobulation permettant de balayer une plage donnée de fréquences. Retenons que les modulations « modifient la perception du courant par le patient et les effets biologiques : type de contraction musculaire (secousse élémentaire ou tétanisation), type de stimulation antalgique (Gate Control ou endorphinique)... » (41). Selon Borne (42), une forme d'onde rectangulaire est préférable car « elle nécessite une moins grande intensité de stimulation pour déclencher une contraction musculaire en raison de l'établissement immédiat du courant ». Concernant la durée de stimulation, elle est inversement proportionnelle à l'intensité de stimulation (43), tissu-dépendante. En augmentant l'intensité/la durée de la stimulation, nous avons d'abord des micro-courants (intensité < seuil sensitif), puis un courant de type TENS (effet antalgique) lorsque l'intensité se situe entre seuil sensitif et seuil moteur, puis un courant excito-moteur (intensité > seuil moteur, contraction musculaire, correspond à l'ESNM), puis un courant douloureux (excitation des fibres A δ et C) pour de fortes stimulations. Une durée d'impulsion de 200 à 400 μ s est recommandée en ESNM, mais le réglage de l'intensité optimale est soumis à une

grande variabilité intra- et interindividuelle (42). Crépon et al. résumant les paramètres par le tableau X suivant.

Tableau I : Courants types (d'après Crépon et al. 2007) (41)

Paramètres	Courants types	Propriétés	Indications
BF BI Basse fréquence 50 à 100 Hz Basse intensité		Antalgique par <i>gate control</i> (durée d'impulsion $\leq 0,1$ ms)	Douleurs localisées
TBF IE Très basse fréquence 2 à 8 Hz Intensité élevée		Antalgique par libération d'endorphines (durée d'impulsion : 0,2 à 2 ms) Excitomoteur par secousses élémentaires (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms)	Douleurs diffuses Éveil musculaire
BF IT Basse fréquence 20 à 80 Hz Intensité suffisante pour tétaniser		Excitomoteur tétanisant (durée d'impulsion : 0,1 à 0,6 ms)	Amyotrophies Renforcement musculaire

L'annexe I récapitule les informations sur le modèle de l'appareil, la durée d'application, la localisation des électrodes, et les paramètres (fréquence, intensité, durée d'impulsion) utilisés lors des 13 études de notre revue. Toutes les études décrivent le modèle d'appareil utilisé : il s'agit d'appareils d'ESNM locale, souvent des modèles des marques Compex, Bodyflow, Veinoplus et Firefly.

4.2.1 Durée d'application de l'ESNM

Toutes les études déclarent une durée d'application variant de 15 mn pour Bieuzen (29), à 8h pour Taylor (34), avec une moyenne de 23 mn en retirant les extrêmes. Taylor, étude de grade A, est la seule à enregistrer une diminution significative de la concentration plasmatique en CK. Son étude ne mesure pas la lactatémie, il montre une amélioration significative de la performance, et de la mesure de la douleur, dans le groupe l'ESNM versus groupe contrôle. Cette efficacité de l'ESNM est-elle en rapport avec la durée hors-normes d'application de 8h utilisée par Taylor ? Deux autres études ayant utilisé l'ESNM pendant 20 à 30 mn montrent pourtant de bons résultats sur la baisse de lactatémie ESNM versus groupe contrôle, non significatifs (28,29), et significatif (38). Chez Govus (40), le groupe vêtement de compression porte le vêtement pendant 12h à l'issue de la compétition, alors que le groupe ESNM est traité pendant 20 mn mais seulement 3 à 4h après l'exercice physique. Ce laps de temps de 3 à 4h avant application du traitement nuit-il à son efficacité ?

4.2.2 Localisation des électrodes

A propos du site des électrodes, Warren est le seul à choisir les muscles du membre supérieur (lanceurs de baseball), lorsque les 12 autres choisissent en général le triceps sural complété éventuellement du quadriceps et/ou des adducteurs. Notre travail reposant sur l'hypothèse d'un triceps sural servant de pompe veineuse périphérique, nous nous étonnons que les seuls résultats significatifs favorables à l'ESNM en termes de diminution de lactatémie versus récupération passive, mais aussi active, soient obtenus par une application sur le membre supérieur.

4.2.3 Fréquence du courant électrique

Douze études sur 13 déclarent des valeurs de fréquences utilisées, sauf Erten (30). L'ensemble des études utilisent des fréquences comprises dans un intervalle de 1 Hz à 9 Hz (Crépon évoquait 2 à 8 Hz) sauf Bieuzen (29) chez qui la fréquence est de 250 Hz. Certains sont en wobulation, croissante (39), décroissante (31,32,38,40), les autres utilisant une fréquence fixe. De La Camara (36) explique qu'il utilise une fréquence de 1 Hz, comme d'autres études, mais que ce niveau de fréquence trop faible pourrait altérer l'effet de pompe musculaire, donc les résultats sur la lactatémie. L'appareil corps entier activerait par ailleurs davantage les fibres musculaires rapides, entraînant de façon contreproductive une hausse de lactatémie). Finberg déclare que la circulation sanguine des sujets n'est pas améliorée à cause de la faible fréquence (1 Hz) du courant, ce qui pourrait expliquer la faible efficacité de l'ESNM vis-à-vis des concentrations de CRP et d'IL-6.

4.2.4 Intensité du courant électrique

Selon Finberg, les mauvais résultats de l'ESNM sont expliqués non seulement par une faible fréquence de 1 Hz, mais aussi par une intensité insuffisante de 11 mA, alors que les intensités constatées parmi nos 13 études sont comprises entre 10 et 70 mA environ (pour les 5 études qui donnent des chiffres d'intensité). Quand les protocoles laissent le patient choisir lui-même l'intensité du courant en fonction de sa tolérance, du confort, ou selon l'idée d'une contraction

visible mais confortable (29,32,36,39), le risque est que l'intensité soit trop faible pour engendrer une contraction musculaire à l'origine d'une clairance efficace des métabolites.

4.2.5 Durée des impulsions électriques

Les durées d'impulsion constatées vont de 25 à 500 μ s, soit 0,025 à 0,5 ms, soit une valeur plancher qui est en dehors de l'intervalle 0,1-0,6 ms, donné par Crépon et al. (41) dans le tableau I.

4.3 Synthèse et discussion sur les résultats biologiques et physiologiques, et leurs critères de jugement

Au cours de notre revue de la littérature portant sur 13 études, nous avons constaté que parmi les 20 critères de jugement utilisés par les chercheurs pour mesurer l'impact de différentes modalités sur la récupération biologique et physiologique des sujets, seuls 3 critères faisaient l'objet de différences significatives entre les modalités évaluées. Il s'agit d'une part de la concentration en lactates, d'autre part de la concentration en C.K., et enfin de la fréquence cardiaque.

4.3.1 Lactatémie : synthèse des résultats et pertinence du critère de jugement

Concernant en premier lieu le critère des lactates, l'étude de Malone (37) conclut que son protocole de récupération à court terme par ESNM chez le cycliste entre deux efforts d'intensité maximale aérobie est significativement moins efficace que la récupération active. Car la lactatémie est significativement plus faible dans le cas de la récupération active en comparaison de l'ESNM et de la récupération passive. Cette étude est la seule à donner un résultat significatif suggérant l'inefficacité, sur le critère lactatémie, de l'ESNM à visée de récupération de court terme entre deux efforts d'intensité maximale aérobie, en comparaison avec la modalité active. A l'opposé, l'étude de Warren (38) est la seule à montrer un résultat significativement plus favorable pour l'ESNM en termes de lactatémie post-récupération par rapport à la récupération active et la récupération passive. Les filières énergétiques des protocoles de Malone et Warren diffèrent : filière aérobie chez le premier, et filière anaérobie

pendant le match simulé de baseball chez le second. Les niveaux de lactatémie initiaux sont potentiellement différents et l'amplitude de diminution de lactatémie peut également être différente. Chez Warren, après 5 balles d'échauffement, une manche d'un match simulé implique l'envoi par le lanceur (« pitcher ») de 14 balles rapides. Or, malgré l'efficacité statistiquement démontrée ici de l'efficacité de l'ESNM sur la lactémie post-récupération, Warren précise dans sa discussion que le nombre de 14 balles rapides par manche, qui est le nombre moyen de balles rapides envoyées par manche chez des joueurs de « niveau lycée », n'était pas assez élevé pour causer une fatigue des muscles squelettiques et une baisse de la vitesse du lancer. En dehors de ces deux études aux résultats opposés, mais significatifs, concernant la lactémie post-récupération, les études d'Argus (28) et de Bieuzen (29) – montrent des différences non significatives en faveur de l'ESNM. Dans la première étude, onze cyclistes très entraînés effectuent trois sprints de 30 secondes séparés de 20 mn de récupération, et voient leur lactémie baisser en fin de deuxième période de récupération, avant le troisième sprint, de 4.9 +/- 6.9% par rapport au groupe contrôle, suggérant un effet potentiellement bénéfique de l'ESNM. Dans celle de Bieuzen, où deux tests intermittents de type Yo-Yo de niveau 2 sont réalisés avec 15 mn de récupération par 14 handballeuses de haut niveau, les résultats de l'ESNM basse fréquence sur la lactémie sont à nuancer, puisqu'à l'issue de la récupération, il existait de meilleurs effets par ESNM basse fréquence que par récupération passive, mais l'efficacité de l'ESNM basse fréquence était par contre moindre en comparaison de la récupération active. Au global, les quatre études que nous venons d'aborder suggèrent que l'ESNM pourrait être plus efficace que la récupération passive pour faciliter le retour de la lactémie à des valeurs basales, mais qu'elle serait moins efficace que la récupération active sur ce même critère. Cela rejoint les conclusions de Neric dans une étude sur des nageurs au sprint, qui concluait que l'ESNM était plus efficace que la récupération passive, mais moins que la modalité active (44). Il faut toutefois avoir à l'esprit que l'ESNM possède un avantage non négligeable pour le sportif face à la récupération active, comme le souligne Borne (42) : la contraction électro-induite engendrerait une dépense énergétique moins importante que la récupération active classique par contraction musculaire volontaire, et un travail cardiaque moindre, permettant une meilleure resynthèse des stocks de glycogène pendant la récupération. En effet, le recours à la récupération active ralentirait la re-synthèse de glycogène musculaire post-exercice par rapport à la récupération passive, alors que le glycogène est un substrat indispensable à la répétition de l'exercice (45). L'ESNM tout en étant probablement plus efficace que la modalité passive sur la lactémie, pourrait en parallèle s'avérer plus économe énergétiquement pour l'organisme que la récupération active.

La méta-analyse de Malone, Blake et Caulfield (37) est une revue systématique de littérature sur l'efficacité de l'ESNM sur la récupération post-exercice physique, que nous avons choisi de ne pas inclure dans notre présent travail car elle incluait une étude portant sur des sujets non sportifs. Parmi les études incluses dans le travail de Malone et al (8), 6 sur 13 (vs 8 sur 13 pour nous) utilisaient le critère sanguin de lactatémie dont 4 études de haute qualité (44,46-48) et 2 de qualité moyenne (49,50). Quatre études (44,47,49,50) (deux de qualité élevée, deux de qualité moyenne) parmi ces six ont montré une diminution significative de lactatémie par l'ESNM versus une modalité passive, alors que c'est le cas uniquement pour l'étude de Warren (38) dans notre travail. Remarquons que Warren, Landers et al. avaient déjà montré une diminution significative de lactatémie post-ESNM versus récupération passive en 2011, confirmée en 2015 également sur une population de lanceurs de base-ball, lors d'une récupération courte entre des manches successives d'un match de baseball simulé. L'étude de Warren (2015) (38) est la seule de notre revue à placer les électrodes de stimulation sur les points moteurs des muscles des membres supérieurs. L'effet de pompe musculaire dans la clairance des lactates aurait pu être moins important qu'avec les électrodes placées sur les membres inférieurs, comme dans les 12 autres études de notre travail. C'est paradoxalement la seule qui montre une efficacité significative de l'ESNM sur la clairance des lactates, versus modalité passive et active. Mentionnons aussi l'étude d'Argus (28) qui fait état d'un effet potentiellement bénéfique de l'ESNM sur la clairance des lactates, sans significativité statistique pour autant. Si dans la méta-analyse de Malone, seules 2 études sur 13 n'ont pas conclu à une diminution significative de lactatémie grâce à l'ESNM versus récupération passive, nous dénombrons 7 études dans ce cas dans notre travail. Malone conclut qu'il existe une preuve de haut niveau permettant d'affirmer que l'ESNM est plus efficace que la récupération passive dans la facilitation de la clairance des lactates. Nos résultats divergent d'avec ceux de Malone, puisque pour notre part, le seul résultat significatif favorable à l'ESNM versus récupération passive sur la lactatémie concerne l'étude de Warren (38), faite sur le membre supérieur, alors qu'Argus (28) donne un avantage non significatif à l'ESNM. Il est étonnant de constater par ailleurs que Malone, dans une autre étude réalisée également en 2014, et incluse dans notre travail (37), ne relève aucune différence significative entre ESNM et récupération passive sur le critère lactatémie.

Sur les 4 études de notre revue qui comparent l'ESNM à la récupération active, deux études, celles de Bieuzen (29) et de Malone (37) trouvent l'ESNM significativement moins efficace sur la lactatémie. Warren (38) trouve une différence significative favorable à l'ESNM versus récupération active, et De La Camara (36) n'établit aucune différence significative

entre ESNM et récupération active, en affirmant que la clairance des lactates par ESNM jusqu'au niveau basal s'est même révélée impossible. Malone, dans sa méta-analyse (8), ne recense qu'une seule étude, de qualité méthodologique moyenne, favorable à l'ESNM versus récupération active (50) sur le critère lactatémie, alors qu'il recense 3 études de qualité élevée montrant une différence significative favorable à la récupération active (44,47,48). Dans une étude plus récente (51), chez 45 sujets âgés de 20 à 25 ans répartis en trois groupes, en bonne santé mais non sportifs, Akinci et al. ont étudié les effets comparés de la récupération active d'une part, de l'ESNM d'autre part, et du « rouleau en mousse » de massage, sur différents critères, pendant et après un effort de haute intensité. Les effets des trois modalités de récupération sur la clairance des lactates, mais aussi sur la récupération des performances et sur la réduction des courbatures, étaient similaires. Mais en cherchant à comprendre s'il existe une corrélation entre l'effet de l'ESNM sur la lactatémie versus récupération active et passive d'une part, et l'effet de l'ESNM sur les critères de performance versus récupération active et passive d'autre part, nous constatons que le niveau de lactatémie, et le niveau de performance, ne semblent pas liés. A ce titre, si nous considérons l'étude de Warren (38) qui est la seule à avoir montré un avantage significatif de l'ESNM sur la clairance des lactates en comparaison avec les modalités active et passive, nous constatons que les différences de performance entre ESNM, modalités active et passive ne sont pas significatives. Nous constatons aussi que des études dont les différences de lactatémie entre modalités de récupération ne sont pas significatives (30,35) connaissent des différences significatives sur les critères de performance.

Par conséquent, nous nous posons la question de la corrélation qui existerait entre la variable lactatémie et la variable performance mesurée chez le sportif. La considération des lactates et de l'acide lactique comme facteur limitant la performance sportive et contribuant à expliquer la fatigue musculaire remonte au début du 20^{ème} siècle (52). Ceci a instauré dans les esprits scientifiques l'idée d'un lien causal entre acide lactique et fatigue du muscle squelettique, comme le note Philips (16). Pour Philips, cette conclusion chez les premiers chercheurs vient de deux de leurs constats. D'une part, que « l'acide lactique se développe spontanément au sein du muscle dans des conditions anaérobies », d'autre part que « la fatigue due aux contractions musculaires s'accompagne d'une augmentation d'acide lactique » (53). Depuis ces premiers travaux, de multiples recherches ont été menées, et suggèrent l'idée d'une relation entre production d'acide lactique, acidose, et fatigue musculaire : ainsi, dans les années 1970, l'existence d'une relation linéaire entre l'accumulation de lactates et la perte de force musculaire chez la grenouille, puis au sein des

muscles de la cuisse chez l'humain, a été trouvée (54,55). Noakes (56) cité par Philips, réfute les thèses des travaux de Hill, Fletcher et Hopkins des années 1920, selon lesquels l'acide lactique serait une cause directe de la fatigue lors des efforts courts de haute intensité. Ces efforts sont majoritaires dans les protocoles des 13 études de notre revue. Dans les années 1990, une revue narrative de Billat (57) affirmait le lien entre la mesure de la lactatémie chez des coureurs d'endurance et leur performance : la lactatémie pouvait selon l'étude être prédictive de la capacité aérobie des athlètes (VO_{2max}) qui conditionne la performance physique des coureurs de longue distance. De même, chez des cyclistes féminines entraînées, il a été montré que lors d'une épreuve d'endurance d'une heure, les seuils lactiques et la puissance maximale étaient de meilleurs paramètres prédictifs de la performance en endurance que la VO_{2max} (58). Plus récemment, une étude a montré la corrélation entre les seuils lactiques des coureurs de trail, et leur performance respective sur des courses de format d'endurance court de type XS (31 km) ou XXS (21 km) (59). Mais concernant des courses plus courtes et intenses en résistance, sollicitant davantage la filière anaérobie, Billat cite Hautier et al. ont constaté que sur des courses de 100m et 200m, les lactatémies à 3 mn après la fin de la course, bien qu'élevées, n'étaient pas corrélées au niveau de performance (60). Ces courses à courte distance représentent des temps de courses de 10 à 23s qui correspondent à la durée des efforts courts et intenses de nos 13 études. Enfin, après des recherches sur différentes bases de données médicales, il existe plus d'études étudiant la corrélation lactatémie et performance faisant intervenir des disciplines d'endurance – course à pied d'endurance, cyclisme...- que des disciplines de résistance – football, rugby, volleyball...- souvent synonymes de sports d'équipe. Nous ne pouvons répondre dans le cadre de notre présent travail à la question de savoir si les mesures de lactatémie sont un critère de jugement pertinent en 2020 pour évaluer la fatigue et la récupération d'un sujet, mais nous pouvons constater que les valeurs de lactatémie ne sont pas nécessairement corrélées, dans plusieurs études, aux niveaux de performance atteints.

Mentionnons enfin que l'étude de Bieuzen (39), la seule à prendre compte la LDH, ne constate aucun effet de l'ESNM sur la cinétique de LDH post-exercice ($p=0.81$), ni sur la NFS.

4.3.2 Créatine-kinases (CK) et pertinence du critère de jugement

Sur les 4 études sur 13 utilisant le critère de jugement CK, les mesures sont faites durant au moins 24h, et jusqu'à 68h chez Govus, sur des skieurs de fond (40). Il existe un effet de variation dans le temps des concentrations plasmatiques de CK pour toutes les études et toutes les modalités (presque toujours avec $p < 0.001$), mais une seule étude (34) portant sur 28 rugbymen et footballeurs professionnels a obtenu une concentration en CK à 24h post-sprint significativement plus basse après ESNM qu'après récupération passive ($p < 0.001$). Malone n'avait pas recensé ce critère dans les études composant sa méta-analyse (8). Il est intéressant de constater que certaines études comparent le critère principal de performance à des critères secondaires tels que la concentration en CK : Russell et al (61) évalue chez des footballeurs professionnels, les relations entre leur activité physique sur le terrain (distance parcourue pendant les phases d'efforts de haute intensité, cette même distance rapportée par minute, la distance parcourue à haute vitesse, le nombre de sprints par minute) , leur variation de puissance et de CK. Il en résulte que l'intensité des activités sur le terrain et les variations de puissance et de CK étaient significativement corrélées à 24h post match, mais pas à 48h post-match. Une autre étude récente (62) portant sur les marqueurs biochimiques et de performance dans les sports collectifs de balle indique que le délai de retour des CK à un niveau basal peut atteindre 72h, voire 120h, alors que le délai de retour aux valeurs basales du countermovement jump (hauteur en cm) était le plus souvent de 48h à 60h. Il existerait donc un décalage dans les cinétiques de retour aux valeurs basales entre CMJ et CK.(63). Wiig et al. (64), dans une étude de 2019 sur des footballeurs semi-professionnels constate une augmentation substantielle des CK la plus probable à 1h post-match, à 24h, et à 48h, tandis qu'une augmentation substantielle seulement « probable » est mesurée à 72 post-match. Thorpe (18) affirme que la concentration en CK augmente dans le sang immédiatement après un match de football ou de rugby, pour atteindre son maximum à 24-48h, et retourne à sa valeur basale après 48h à 120h, tout en interrogeant la pertinence du rapport de ce marqueur avec le niveau de récupération physique. Dans notre travail, nous retrouvons chez Jajtner (32) une augmentation significative du taux de CK à 24h et 48h ($p < 0.001$) avec un pic à 24h toutes modalités confondues, mais sans effet de l'intervention ESNM. Chez Govus et Bieuzen (39,40), les courbes d'évolution des CK sont similaires selon les différentes techniques de récupération. Chez Taylor (34), une concentration plasmatique plus faible est relevée sous l'effet de l'ESNM uniquement à partir de 24h post-exercice. Or, les mesures s'arrêtent justement à 24h, sans qu'il soit possible de juger du maintien de cette différence significative

de l'ESNM versus récupération passive au-delà de ces 24h. Mentionnons enfin l'hypothèse de Wiewelhove pour qui la concentration plasmatique de CK, comme l'urée, ne sont pas des marqueurs spécifiques de monitoring de la fatigue et de la récupération après un entraînement de haute intensité par interval-training, et sont donc peu utiles dans ce cadre (65).

4.3.3 Autres critères de jugement biologiques et physiologiques

Les hormones cortisone et testostérone ne sont évaluées que par l'étude de Taylor (34), et leurs variations ne sont pas significativement différentes selon les modalités de récupération (ESNM vs passif). La cortisone constitue une réponse à un important stress catabolique, et sa concentration est censée augmenter après un match (66) ; la testostérone est une hormone stimulant la synthèse de glycogène et nécessaire à la réparation tissulaire (66)

Les CRP n'ont pas montré d'évolution significativement différente chez Finberg (33) entre ESNM, CWT et groupe contrôle, tout comme chez Jajtner (32) entre ESNM, CWI et groupe contrôle. D'après Thorpe, les CRP sont des marqueurs de bonne sensibilité de l'inflammation après un match de football, des augmentations de 50% au moins ayant été trouvées chez des footballeurs élite 48h après un match (18)

La concentration plasmatique des IL6 ne montrait aucune différence significative chez Finberg (33) entre ESNM, groupe CWT, et groupe contrôle, et également chez Jajtner (32) entre ESNM, groupe CWI, et groupe contrôle. Jajtner est le seul à considérer les IL-10, les IL-10 ont une concentration significativement plus élevée à 30 mn post-exercice que pendant les phases suivantes, avec une diminution de concentration grâce à l'ESNM significativement plus importante à 30 mn qu'avec la CWI, mais ce rapport s'inverse à 48h post-exercice. La CWI semble probablement plus efficace sur les IL10 à 48h post-exercice que l'ESNM. Mais il ne semble pas possible d'affirmer que la CWI serait plus efficace à 48h que la récupération active après un effort intense, d'après Peake et al (67).

Concernant la myoglobine, l'évolution physiologique de sa concentration après un match de football simulé (64) chez des joueurs semi-professionnels montre que le maximum est atteint 1h après la fin du match, tandis que la valeur basale n'est retrouvée qu'à 72h post-match. Dans notre revue, l'étude de Jajtner (32) obtient une augmentation significative ($p < 0.001$) de la concentration en myoglobine avec un maximum à 30 mn post-exercice, avec une augmentation probablement plus grande pour l'ESNM (et très probablement plus grande

pour la CWI) comparativement au groupe contrôle. Nous ne disposons pas de mesures de myoglobine après t30mn pour mesurer l'effet de l'ESNM sur la cinétique de la myoglobine à plus long terme.

L'urée n'est utilisée que par Govus (40) qui compare chez des skieurs de fond les effets de l'ESNM avec ceux de vêtements de compression, versus groupe contrôle. Les mesures d'urémie prises à 8h, 20h, 44h, et 68h montrent un effet temporel avec des valeurs en augmentation significative avec un maximum à 8h. Il n'existe pas d'effet significatif de l'ESNM sur l'urémie.

Les mesures de pH et d'ions HCO_3^- sont utilisées dans l'étude de Bieuzen en 2014 (29), sans résultat significatif, mais nous notons cependant des valeurs de pH probablement plus élevées pour l'ESNM et la récupération active dès t3mn par rapport à la récupération passive. Quant aux ions bicarbonate, leurs valeurs sont certainement plus élevées pour l'ESNM et la récupération active versus passive. Cela permet à Bieuzen de conclure en disant que l'ESNM –et la récupération active- accélèrent le retour du pH et des concentrations de bicarbonate aux valeurs basales, en comparaison avec la récupération passive.

L'échographie musculaire n'est utilisée que par Jajtner (32), sans qu'aucune différence significative ne soit relevée entre l'ESNM et la CWI d'une part, et l'ESNM et la récupération passive d'autre part.

La température corporelle, utilisée par la seule étude de De La Camara (36) ne varie pas de façon significative dans le groupe ESNM par rapport au groupe actif et au groupe passif. Une augmentation de la vitesse du flux sanguin est engendrée par l'ESNM à visée de récupération (48,68) par augmentation de la température corporelle, de la FC, ou de la tension artérielle, entre autres facteurs. Malheureusement, dans cette étude (36) la température corporelle n'a pas augmenté davantage avec l'ESNM corps entier que par les autres modalités de récupération. Si l'ESNM peut effectivement augmenter la FC (69), ce qui améliorerait potentiellement la clairance des lactates, la FC obtenue par ESNM corps entier reste du niveau de celle obtenue par ESNM conventionnel locale (47,48).

Les paramètres hémodynamiques utilisés dans nos 13 études sont très variés, et sont pour 4 sur 5 d'entre eux utilisés par une seule étude : la saturation en hémoglobine et la tension artérielle pour De La Camara (36), l'indice de saturation tissulaire (IST) et la VO_2 par Bieuzen (29). La saturation en hémoglobine n'a pas varié de manière significative chez De La Camara pour les groupes ESNM corps entier, récupération active, et récupération passive.

Mais l'étude montre que le pourcentage de saturation tissulaire en hémoglobine était plus faible pour l'ESNM corps entier que pour d'autres méthodes, et similaire à celui observé dans d'autres études sur l'ESNM local (46). L'IST et la VO₂ utilisés par Bieuzen (29) ont montré des valeurs comparables entre l'ESNM et la récupération passive. Ceci suggère que l'activité musculaire induite par l'appareil d'ESNM basse fréquence Veinoplus utilisé dans l'étude est à l'origine d'une activité oxydative très faible dans les muscles superficiels, ce qui pourrait favoriser la resynthèse des stocks de glycogène, et donc la répétition de la performance. Sur le critère de la pression artérielle systolique (PAS), De La Camara (36) montre que l'ESNM corps entier et la récupération passive ont des différences significatives de PAS aux temps de récupération t5mn, t12mn, mais pas à t20mn. Nous pouvons nous interroger quant à l'éventuel gain d'efficacité d'une variation de PAS sur la clairance des lactates.

La FC est évaluée dans 6 études sur 13, dont 4 où elle est sujette à des différences non significatives selon les modalités. Deux études voient une modification de la FC en fonction de la modalité de récupération (29,37). Chez Malone (37), l'évaluation de la FC donne lieu pendant la récupération de 30 mn suivant un effort court intensif de 3 mn, à des différences significatives entre ESNM, récupération passive, et active : pendant la récupération, la FC était significativement plus élevée avec la modalité active qu'avec la modalité passive et l'ESNM. A t5mn et t15mn, la FC du groupe ESNM est légèrement plus élevée que celle du groupe passif. Il s'avère qu'une FC plus élevée demande un travail accru du myocarde, ce que l'on pourrait considérer comme un inconvénient, mais qu'elle pourrait améliorer la clairance des lactates. Chez Bieuzen (29), la FC est presque certainement plus faible après récupération passive et ESNM qu'après récupération active. Neric avait déjà établi l'hypothèse d'une ESNM moins efficace que la récupération active pour faciliter la clairance des lactates, du fait d'une plus faible FC (44).

4.4 Synthèse et discussion sur la récupération de la performance

La performance réalisée par les sportifs de nos 13 études est souvent le critère de jugement principal de l'étude, car il est celui qui compte avant tout pour un sportif, particulièrement un sportif professionnel

Sur les 13 études composant notre revue, toutes comparent au moins l'efficacité de l'ESNM sur les critères principaux et secondaires de performance vis-à-vis de la récupération passive, et 10 études vis-à-vis de deux modalités de récupération au moins.

Quatre études (30,33,34,39) établissent une performance significativement meilleure pour l'ESNM par rapport à la récupération passive sur des critères de performance cependant très variés et hétérogènes. Chez Bieuzen (39), la force explosive par la contraction volontaire maximale (MVC) des extenseurs du genou, la performance maximale du saut à contre bas (CMJ), la puissance moyenne sur 30 s indiquant la capacité anaérobie. Chez Finberg (33), la capacité du sportif est donnée par la somme de 15 temps individuels sur 20 m de sprint à chaque série d'un STGC. Chez Taylor (34), le CMJ mesure la puissance maximale en W et la hauteur maximale en cm. Enfin, chez Erten (30), des tests de puissance et d'endurance sur machine d'isocinétisme sont réalisés pour les deux chevilles. Dans nos études retrouvant une efficacité significative de l'ESNM par rapport à la récupération passive, nous constatons hormis chez Erten, qu'elles utilisent principalement des mesures de temps et de puissance au sprint, ainsi que la puissance et la hauteur de saut (CMJ)

Wiewelhove et al. (65) dans leur étude portant sur l'évaluation de marqueurs de routine de la fatigue et de la récupération chez des athlètes hommes et femmes de sports d'équipe, évoque l'épreuve du Repeated Sprint Ability (RSA), qui serait un important marqueur, reproductible, de la performance spécifique aux sports d'équipe, et au football en particulier (70–72). Le RSA, qu'aucune de nos études portant sur le football n'utilise, retourne selon Wiewelhove à sa valeur basale en 72h de récupération. Le temps de mesure le plus long parmi nos 13 études est celui du CMJ de skieurs de fond à 68h post-compétition chez Govus (40). Cependant, l'utilisation du RSA au quotidien pour évaluer l'état de fatigue pourrait être trop coûteuse en énergie et manquer de praticité pour l'athlète (73). A ce titre, selon Wiewelhove (65), le CMJ, le MRJ (multiple rebound jump test) ou le sprint sur 20 m seraient les critères de performance les moins exigeants et les plus pratiques. Cependant, les réponses des marqueurs de fatigue-récupération à un stimulus d'entraînement sont individus dépendants (9,74) et différent dans leur évolution temporelle selon qu'il s'agit de marqueurs biochimiques, ou de marqueurs de performance neuromusculaire selon Andersson et al (75). D'après leur étude, la performance au CMJ – et même l'activité des CK et les courbatures-varieraient encore 74h après un match de football, alors que les performances de sprint seraient retournées à leur valeur basale dès 5h après l'effort. Andersson affirme que l'évaluation en routine de la récupération doit se faire au cas par cas pour chaque athlète, sur la base du CMJ, du MRJ, du sprint de 20m, du taux de CK, de l'intensité des courbatures, en

plus d'éventuels marqueurs spécifiques au sport concerné. Dans sa revue systématique portant sur la période 1970-2012, Malone (8) n'avait recensé que 3 études sur 13 utilisant le CMJ ou un protocole de sprint en guise de critère de jugement de la performance (44,46,76)

Malone (8) ne recense qu'une étude, cependant de mauvaise qualité méthodologique, qui montre que l'ESNM a un effet significativement positif sur les critères de performance comparativement au groupe passif. Aucune différence significative n'est relevée pour dix autres études sur les onze qui composent sa revue de littérature. Quatre études de notre travail montrent un effet significativement positif de l'ESNM sur les critères de performance versus récupération passive, dont une de faible qualité méthodologique (30), une de qualité moyenne (33), et deux de qualité élevée (34,39). Si Malone (8) recense une étude de moyenne qualité montrant un effet significativement positif de l'ESNM sur la performance par rapport à la récupération active, nous n'en recensons aucune. Il dénombre aussi une étude de haute qualité montrant un effet significativement négatif de l'ESNM sur la performance par rapport à la récupération active : nous en recensons aussi une dans notre travail, de haute qualité méthodologique (37).

4.5 Synthèse et discussion sur la récupération des facteurs perceptuels

Dix études sur les treize incluses dans notre travail prennent en compte au moins un critère de mesure du versant subjectif de la fatigue liée à l'effort physique. Malone, Erten, et Cochrane (30,35,37) n'en comptent aucun. Ces critères sont l'échelle de perception de l'effort (Rating of Perceived Exertion ou RPE), l'échelle d'évaluation de la qualité de la récupération (échelle Total Quality of Recovery, TQR), le classement de la méthode de récupération préférée, l'évaluation de la douleur (Echelle Visuelle Analogique, EVA). En 2011, Babault et al. constatent que la plupart des effets positifs de l'ESNM concerne des éléments subjectifs tels que la récupération perçue, ou l'augmentation de la tolérance aux exercices, bien davantage que la récupération de la force musculaire (7).

4.5.1 Total Quality Recovery Scale (TQR)

De nombreux outils d'évaluation de la réponse psychologique aux entraînements existent pour les athlètes (77), dont fait partie l'échelle TQR. Chez 42 footballeurs professionnels durant deux saisons, des mesures de récupération objectives et subjectives, -

dont l'échelle TQR- ont été faites à 48h post-match (78) Certains footballeurs jouaient une fois par semaine, d'autres plusieurs fois par semaine (<96h de récupération). Le score TQR était significativement réduit dans les deux groupes de footballeurs à 48h. Dans notre revue, 5 études prennent en compte l'échelle TQR, trois obtiennent des résultats favorables à l'ESNM sur ce critère (28,29,33), dont les trois études versus récupération passive, et une étude versus récupération passive et CWT (33). Cette dernière étude, de Finberg et al, est la seule à obtenir un avantage statistiquement significatif pour l'ESNM en termes de score TQR versus groupe contrôle, à 24h post-récupération : Finberg explique que l'amélioration significative des performances après ESNM versus après récupération passive s'explique par une perception de récupération améliorée par l'ESNM. Finberg précise qu'elle ne s'explique pas par l'évolution des marqueurs sanguins de l'inflammation (CRP et IL6) qui restent au contraire à des concentrations élevées. Chez Argus (28), au cours de sprints intenses répétés chez des cyclistes, deux périodes de 20 mn de récupération prennent place entre 3 sprints : le score TQR s'améliorerait pendant la seconde récupération par ESNM versus récupération passive. Pour Bieuzen (29), le score de la récupération perçue était presque certainement plus élevé en récupération active et par ESNM qu'en récupération passive.

4.5.2 Rating of Perceived Exertion (RPE) et perception de la douleur

L'évaluation de l'effort perçu (RPE) est un des moyens les plus communs pour l'athlète d'évaluer son stress physiologique pendant l'effort ou rétrospectivement après l'entraînement ou la compétition (9). Le RPE est souvent combiné à d'autres variables comme la durée des sessions, la FC, la lactatémie afin de fournir un complément d'information sur la charge interne que subit le sportif. Cinq études (29,31,33,36,38) utilisent le RPE comme critère de récupération perceptuelle, mais seule l'étude de Warren (38) obtient une amélioration significative du RPE dans le groupe ESNM, en l'occurrence versus récupération active. Les autres études concluent toutes à l'absence de différences significatives entre modalités à propos du RPE, et à la nécessité de plus amples recherches pour mesurer l'impact psychologique des techniques de récupération. Il est étonnant de constater que Malone, dans sa méta-analyse (8), obtient 4 différences significatives de RPE en faveur de l'ESNM versus récupération passive, lorsque nous n'en obtenons qu'une chez Warren, et qu'elle se fait versus récupération active.

Cinq études utilisent une échelle d'évaluation de la douleur (32,34,36,39,40), mais seule l'étude de Taylor (34) donne un avantage significatif à l'ESNM en terme de diminution de la douleur. L'hypothèse qui sous-tend l'efficacité de l'ESNM à visée de récupération est l'augmentation du flux sanguin, donc de la clairance des métabolites, et par conséquent de l'oxygénation des tissus, de la production de force, de la délivrance des hormones vers les tissus musculaires endommagés. Elle pourrait expliquer cette diminution des courbatures et autres douleurs perçues à 24h post-effort, notamment par diminution de l'œdème tissulaire. Il faut considérer deux choses chez Taylor : d'une part, les sportifs savaient à quel groupe ils appartenaient, ce qui interdit tout effet placebo, et d'autre part, ce qui est singulièrement différent d'autres protocoles, le temps d'application de l'ESNM était de 8h, contre 23 mn en moyenne pour les 12 autres études !

4.5.3 Préférence de la modalité de récupération

Argus et Warren (28,38) sont les deux seules études à mettre en place une forme d'évaluation par les athlètes de leur modalité de récupération préférée. Tandis que dans l'étude d'Argus, les résultats ne sont pas donnés, dans celle de Warren, l'ESNM est préférée par 18 des 21 participants, ce qui corrobore les résultats du RPE qui décline significativement pour l'ESNM, mais pas pour la récupération active.

5. CONCLUSION

L'objectif de ce travail consistait à réaliser un état des lieux des travaux portant sur l'efficacité comparée de la récupération musculaire par ESNM à moyen et long terme chez le sportif professionnel et amateur pratiquant régulier. Notre travail reposait sur deux hypothèses : d'une part que les contractions musculaires électro-induites par les courants de très basse fréquence et de haute intensité des appareils d'ESNM permettraient d'engendrer des contractions musculaires assez efficaces pour contribuer à une amélioration de la clairance des métabolites issues de l'effort, notamment des lactates ; d'autre part, que l'accélération par l'ESNM de la clairance des métabolites aurait un effet significatif sur la récupération de la performance musculaire. L'idée originelle était de poursuivre, à notre niveau -c'est-à-dire sans reprendre la dimension statistique d'une méta-analyse- la revue systématique de Malone et al. (8). Nous avons évalué les effets de l'ESNM sur l'état de

fatigue et de récupération des sujets d'abord sur des critères biologiques et physiologiques, ensuite sur des critères de performance, et enfin sur des critères perceptuels.

De façon générale, l'effet des appareils d'ESNM versus récupération passive est peu marqué sur les marqueurs biologiques et physiologiques, sauf sur certains d'entre eux. Ainsi, sur la lactatémie, les résultats d'Argus, de Bieuzen et Borne, de Malone, et de Warren suggèrent globalement une efficacité très probable de l'ESNM versus récupération passive, mais une efficacité plus contestable versus récupération active. Les résultats de Warren versus actif et passif sont les plus favorables mais incitent à la prudence puisqu'ils portent sur des muscles du membre supérieur. Concernant les CK, Taylor obtient le seul résultat significatif de notre revue à 24h post-sprint. Par ailleurs, la FC serait plus élevée avec ESNM versus actif, et moins élevée avec ESNM versus passif, ce qui représente à la fois l'avantage d'une possible re-synthèse du glycogène, et l'inconvénient de ne pas faciliter la clairance des métabolites. Notons enfin l'absence de corrélation entre effet de l'ESNM sur la lactatémie, et amélioration de performance par l'ESNM.

Concernant les marqueurs de performance, une tendance apparaît chez près de la moitié des treize études suggérant que l'ESNM serait plus efficace que la récupération passive, et plutôt moins efficace que la récupération active. En ce sens, et puisque récupérer son niveau de performance est le critère principal devant guider l'athlète dans le choix de sa modalité de récupération, nous pouvons conseiller l'ESNM uniquement lorsque la récupération active légère n'est pas possible, pour des raisons de logistique et/ou de temps disponible.

Concernant les mesures de récupération subjective, les scores TQR presque toujours plus favorables à l'ESNM qu'à la modalité passive ou à la CWT –mais certaines études sont de grade B- permettent d'appréhender un véritable apport de l'ESNM du point de vue de la qualité de récupération par rapport au passif. En revanche, on ne note aucun effet significatif sur la perception de l'effort (RPE) par rapport aux modalités active et passive, sauf chez Warren. Il n'est donc pas possible de conclure à de meilleures perceptions de la difficulté de l'effort par le sportif après ESNM.

Nos conclusions générales rejoignent celles de la méta-analyse de Malone : malgré des résultats encourageants sur les marqueurs biologiques et perceptuels par rapport à une récupération passive, les preuves de l'efficacité de l'ESNM en matière de facilitation de la récupération de la performance sont faibles. Pour l'athlète, compte tenu de la diversité des

protocoles, il importera de régler correctement le paramétrage de l'appareil. Il faudra obtenir une efficacité maximale des contractions musculaires sur la clairance notamment en ce qui concerne l'intensité et la fréquence du courant, en choisissant un réglage manuel si besoin.

Nous avons choisi d'évaluer l'efficacité de l'ESNM post-exercice dans le cadre de la récupération de moyen et de long terme, au sens de Bishop et al.(22) chez le sportif professionnel et amateur. Nos recherches ont montré que davantage d'études traitent de la récupération à moyen terme, entre deux séries d'un même match, plutôt qu'à long terme, entre deux entraînements successifs espacés de 24h ou davantage chez un public amateur. Il serait intéressant également d'évaluer l'efficacité de l'ESNM avec des mesures jusqu'à 72h voire 96h post-exercice, et dans le cadre de sports d'endurance, plutôt que de résistance. Bien que la fréquence des échéances sportives soit plus faible pour les sports d'endurance, les entraînements sont quotidiens, et une récupération optimale nécessaire. D'autres études pourraient également être menées en intégrant davantage de modalités de récupération, car certaines des études de notre revue ne comparaient l'ESNM qu'à un groupe contrôle. Enfin, de nombreuses études utilisant la photothérapie laser, menées depuis le milieu des années 2010, semblent prometteuses (79–81).

Bibliographie

1. Electro-Récupération musculaire avec Compex [en ligne]. Compex EU FR. [consultée le 20 oct 2019]. Disponible: <https://www.compex.com/fr/blog/electro-recuperation-musculaire-avec-compex/>
2. Allen JD, Mattacola CG, Perrin DH. Effect of microcurrent stimulation on delayed-onset muscle soreness: a double-blind comparison. *J Athl Train*,1999;34(4):334-7.
3. Butterfield DL, Draper DO, Ricard MD, Myrer JW, Schulthies SS, Durrant E. The effects of high-volt pulsed current electrical stimulation on delayed-onset muscle soreness. *J Athl Train*, 1997;32(1):15-20.
4. Craig JA, Bradley J, Walsh DM, Baxter GD, Allen JM. Delayed onset muscle soreness: lack of effect of therapeutic ultrasound in humans. *Arch Phys Med Rehabil*,1999;80(3):318-23.
5. Denegar CR, Perrin DH. Effect of transcutaneous electrical nerve stimulation, cold, and a combination treatment on pain, decreased range of motion, and strength loss associated with delayed onset muscle soreness. *J Athl Train*,1992;27(3):200-6.
6. McLoughlin TJ, Snyder AR, Brolinson PG, Pizza FX. Sensory level electrical muscle stimulation: effect on markers of muscle injury. *Br J Sports Med*,2004;38(6):725-9.
7. Babault N, Cometti C, Maffiuletti NA, Deley G. Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery? *Eur J Appl Physiol*,2011;111(10):2501-7.
8. Malone JK, Blake C, Caulfield BM. Neuromuscular electrical stimulation during recovery from exercise: a systematic review. *J Strength Cond Res*,2014;28(9):2478-506.
9. Halson SL. Monitoring Training Load to Understand Fatigue in Athletes. *Sports Me*,2014;44(S2):139-47.
10. Enoka RM, Stuart DG. Neurobiology of muscle fatigue. *J Appl Physiol*,1992;72(5):1631-48.
11. Pyne DB, Martin DT. Fatigue - insights from individual and team sports. *Regulation of Fatigue in Exercise*,2011;177-86.
12. Marino FE, Gard M, Drinkwater EJ. The limits to exercise performance and the future of fatigue research. *British Journal of Sports Medicine*,2011;45(1):65-7.
13. Borne R. Électrostimulation neuromusculaire et récupération à court terme: implications dans la performance du sportif de haut niveau.238p. Doctorat en Sciences et techniques des activités physiques et sportives. Marseille, Université de Nice.
14. Chennaoui M, Gomez-Merino D, Duclos M, Guézennec CY. La fatigue : mécanismes et conséquences. *Science & Sports*,2004;19(5):270-9.
15. Sesboüé B, Guincestre J-Y. La fatigue musculaire. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*,2006;49(6):257-64.
16. Phillips S. *Fatigue in Sport and Exercise*. Abingdon-on-Thames: Routledge,2015.

17. Dupuy O, Douzi W, Theurot D, Bosquet L, Dugué B. An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis. *Front Physiol*, 2018
18. Thorpe RT, Atkinson G, Drust B, Gregson W. Monitoring Fatigue Status in Elite Team-Sport Athletes: Implications for Practice. *International Journal of Sports Physiology & Performance*, 2017;12:S2-27.
19. Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gatin P, Kellmann M, Varley MC, et al. Monitoring Athlete Training Loads: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2017;12(s2):S2-161-S2-170.
20. Kellmann M, Bertollo M, Bosquet L, Brink M, Coutts AJ, Duffield R, et al. Recovery and Performance in Sport: Consensus Statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018;13(2):240-5.
21. Kellmann, Bertollo, Bosquet, Brink, Coutts A, Duffield, et al. Recovery and performance: Consensus statement. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2018;13.
22. Bishop PA, Jones E, Woods AK. Recovery from training: a brief review: brief review. *J Strength Cond Res*, 2008;22(3):1015-24.
23. Gedda M. Traduction française des lignes directrices PRISMA pour l'écriture et la lecture des revues systématiques et des méta-analyses. *KinesitherRev*, 2015;15(157):39-44
24. Gedda M. Traduction française des lignes directrices CONSORT pour l'écriture et la lecture des essais contrôlés randomisés. *Kinésithérapie, la Revue*, 2015;15(157):28-33.
25. Downs SH, Black N. The feasibility of creating a checklist for the assessment of the methodological quality both of randomised and non-randomised studies of health care interventions. *J Epidemiol Community Health*, 1998;52(6):377-84.
26. Arnaud Delafontaine. Réussir la démarche de recherche universitaire en kinésithérapie et thérapie manuelle. Paris: Elsevier Masson, 2019.
27. Higgins JPT, Altman DG, Gøtzsche PC, Jüni P, Moher D, Oxman AD, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*, 2011;343:d5928.
28. Argus CK, Driller MW, Ebert TR, Martin DT, Halson SL. The effects of 4 different recovery strategies on repeat sprint-cycling performance. *Int J Sports Physiol Perform*, 2013;8(5):542-8.
29. Bieuzen F, Borne R, Toussaint J-F, Hausswirth C. Positive effect of specific low-frequency electrical stimulation during short-term recovery on subsequent high-intensity exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*, 2014;39(2):202-10.
30. Erten YT, Sahinkaya T, Dinc E, Kilinc BE, Bayraktar B, Kurtoglu M. The effects of compression garments and electrostimulation on athletes' muscle soreness and recovery. *J Exerc Rehabil*, 2016;12(4):308-13.
31. Pinar S, Kaya F, Bicer B, Erzeybek MS, Cotuk HB. DIFFERENT RECOVERY METHODS AND MUSCLE PERFORMANCE AFTER EXHAUSTING EXERCISE: COMPARISON OF THE EFFECTS OF ELECTRICAL MUSCLE STIMULATION AND MASSAGE. *Biol Sport*, 2012;29(4):269-75.

32. Jajtner AR, Hoffman JR, Gonzalez AM, Worts PR, Fragala MS, Stout JR. Comparison of the effects of electrical stimulation and cold-water immersion on muscle soreness after resistance exercise. *J Sport Rehabil*,2015;24(2):99-108.
33. Finberg M, Braham R, Goodman C, Gregory P, Peeling P. Effects of Electrostimulation Therapy on Recovery From Acute Team-Sport Activity. *International Journal of Sports Physiology & Performance*,2013;8(3):293-9.
34. Taylor T, West DJ, Howatson G, Jones C, Bracken RM, Love TD, et al. The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players. *J Sci Med Sport*,2015;18(3):328-32.
35. Cochrane DJ, Teo C. The effect of neuromuscular electrical stimulation (Firefly™ device) on blood lactate clearance and anaerobic performance. *Edorium Journal of Sports Medicine*,2015;1:1-6.
36. de la Cámara Serrano MÁ, Pardos AI, Veiga ÓL. Effectiveness evaluation of whole-body electromyostimulation as a postexercise recovery method. *J Sports Med Phys Fitness*, 2018;58(12):1800-7.
37. Malone JK, Blake C, Caulfield B. Neuromuscular Electrical Stimulation: No Enhancement of Recovery From Maximal Exercise. *International Journal of Sports Physiology and Performance*,2014;9(5):791-7.
38. Warren CD, Szymanski DJ, Landers MR. Effects of Three Recovery Protocols on Range of Motion, Heart Rate, Rating of Perceived Exertion, and Blood Lactate in Baseball Pitchers During a Simulated Game. *J Strength Cond Res*,2015;29(11):3016-25.
39. Bieuzen F, Pournot H, Roulland R, Hausswirth C. Recovery after high-intensity intermittent exercise in elite soccer players using VEINOPUS sport technology for blood-flow stimulation. *J Athl Train*,2012;47(5):498-506.
40. Govus AD, Andersson EP, Shannon OM, Provis H, Karlsson M, McGawley K. Commercially available compression garments or electrical stimulation do not enhance recovery following a sprint competition in elite cross-country skiers. *Eur J Sport Sci*,2018;18(10):1299-308.
41. Crépon F, Doubrère J-F, Vanderthommen M, Castel-Kremer E, Cadet G. Électrothérapie. Électrostimulation. *EMC - Kinésithérapie - Médecine physique - Réadaptation*,2007;3(4):1-19.
42. Borne R. Électrostimulation neuromusculaire et récupération à court terme: implications dans la performance du sportif de haut niveau.2016.238p. Doctorat en Sciences et techniques des activités physiques et sportives. Marseille, Université de Nice.
43. Weiss G. Sur la possibilité de rendre comparables entre eux les appareils servant à l'excitation électrique. *Archives Italiennes de Biologie*. 1901;35(1):413-45.
44. Neric FB, Beam WC, Brown LE, Wiersma LD. Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. *J Strength Cond Res*,2009;23(9):2560-7.
45. Fairchild TJ, Armstrong AA, Rao A, Liu H, Lawrence S, Fournier PA. Glycogen synthesis in muscle fibers during active recovery from intense exercise. *Med Sci Sports Exerc*,2003;35(4):595-602.

46. Cortis C, Tessitore A, D'Artibale E, Meeusen R, Capranica L. Effects of post-exercise recovery interventions on physiological, psychological, and performance parameters. *Int J Sports Med*,2010;31(5):327-35.
47. Heyman E, DE Geus B, Mertens I, Meeusen R. Effects of four recovery methods on repeated maximal rock climbing performance. *Med Sci Sports Exerc*,2009;41(6):1303-10.
48. Malone JK, Coughlan GF, Crowe L, Gissane GC, Caulfield B. The physiological effects of low-intensity neuromuscular electrical stimulation (NMES) on short-term recovery from supra-maximal exercise bouts in male triathletes. *Eur J Appl Physiol*,2012;112(7):2421-32.
49. Seo B, Kim D, Choi D, Kwon C, Shin H. The Effect of Electrical Stimulation on Blood Lactate after Anaerobic Muscle Fatigue Induced in Taekwondo Athletes. *J Phys Ther Sci*. 2011;23(2):271-5.
50. Warren CD, Brown LE, Landers MR, Stahura KA. Effect of three different between-inning recovery methods on baseball pitching performance. *J Strength Cond Res*,mars 2011;25(3):683-8.
51. Akinci B, Zenginler Yazgan Y, Altinoluk T. The effectiveness of three different recovery methods on blood lactate, acute muscle performance, and delayed-onset muscle soreness: a randomized comparative study. *J Sports Med Phys Fitness*,2019;
52. Hill AV, Lupton H. Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilization of Oxygen. *QJM*,1923;os-16(62):135-71.
53. Fletcher WM. Lactic acid in amphibian muscle. *J Physiol (Lond)*,1907;35(4):247-309.
54. Fitts R, Holloszy J. Lactate and contractile force in frog muscle during development of fatigue and recovery. *American Journal of Physiology-Legacy Content*,1976;231(2):430-3.
55. Spriet LL, Söderlund K, Bergström M, Hultman E. Skeletal muscle glycogenolysis, glycolysis, and pH during electrical stimulation in men. *J Appl Physiol*,1987;62(2):616-21.
56. Noakes TD, St Clair Gibson A. Logical limitations to the « catastrophe » models of fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med*,2004;38(5):648-9.
57. Billat LV. Use of Blood Lactate Measurements for Prediction of Exercise Performance and for Control of Training. *Sports Med*,1996;22(3):157-75.
58. Bishop D, Jenkins DG, Mackinnon LT. The relationship between plasma lactate parameters, W_{peak} and 1-h cycling performance in women. *Medicine & Science in Sports & Exercise*,1998;30(8):1270-1275.
59. Scheer V, Vieluf S, Janssen TI, Heitkamp H. Predicting Competition Performance in Short Trail Running Races with Lactate Thresholds. *J Hum Kinet*,2019;69:159-67.
60. Hautier CA, Wouassi D, Arsac LM, Bitanga E, Thiriet P, Lacour JR. Relationships between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races. *Europ J Appl Physiol*,1994;68(6):508-13.
61. Russell M, Sparkes W, Northeast J, Cook CJ, Bracken RM, Kilduff LP. Relationships between match activities and peak power output and Creatine Kinase responses to professional reserve team soccer match-play. *Hum Mov Sci*,2016;45:96-101.

62. Doeven SH, Brink MS, Kosse SJ, Lemmnk KAPM. Postmatch recovery of physical performance and biochemical markers in team ball sports: a systematic review. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2018;4(1):e000264.
63. Ispirlidis I, Fatouros IG, Jamurtas AZ, Nikolaidis MG, Michailidis I, Douroudos I, et al. Time-course of changes in inflammatory and performance responses following a soccer game. *Clin J Sport Med*,2008;18(5):423-31.
64. Wiig H, Raastad T, Luteberget LS, Ims I, Spencer M. External Load Variables Affect Recovery Markers up to 72 h After Semiprofessional Football Matches. *Front Physiol*. 2019;10:689.
65. Wiewelhove T, Raeder C, Meyer T, Kellmann M, Pfeiffer M, Ferrauti A. Markers for Routine Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Team Sport Athletes during High-Intensity Interval Training. Tauler P, éditeur. *PLoS ONE*,2015;10(10):e0139801.
66. Urhausen A, Gabriel H, Kindermann W. Blood hormones as markers of training stress and overtraining. *Sports Med*,1995;20(4):251-76.
67. Peake JM, Roberts LA, Figueiredo VC, Egner I, Krog S, Aas SN, et al. The effects of cold water immersion and active recovery on inflammation and cell stress responses in human skeletal muscle after resistance exercise. *The Journal of Physiology*,2017;695-711.
68. Barnett A. Using Recovery Modalities between Training Sessions in Elite Athletes. *Sports Med*,2006;36(9):781-96.
69. Grosset J-F, Crowe L, Vito GD, O'Shea D, Caulfield B. Comparative effect of a 1 h session of electrical muscle stimulation and walking activity on energy expenditure and substrate oxidation in obese subjects. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*,2012;38(1).
70. Aziz AR, Mukherjee S, Chia MYH, Teh KC. Validity of the running repeated sprint ability test among playing positions and level of competitiveness in trained soccer players. *Int J Sports Med*,2008;29(10):833-8.
71. Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Bishop D, Ferrari Bravo D, Tibaudi A, et al. Validity of a repeated-sprint test for football. *Int J Sports Med*,2008;29(11):899-905.
72. Rampinini E, Bishop D, Marcora SM, Ferrari Bravo D, Sassi R, Impellizzeri FM. Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med*,2007;28(3):228-35.
73. Coutts AJ, Slattery KM, Wallace LK. Practical tests for monitoring performance, fatigue and recovery in triathletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*,2007;10(6):372-81.
74. Nédélec M, McCall A, Carling C, Legall F, Berthoin S, Dupont G. Recovery in Soccer: Part I – Post-Match Fatigue and Time Course of Recovery. *Sports Medicine*,2012;42(12):997-1015.
75. Andersson H, Raastad T, Nilsson J, Paulsen G, Garthe I, Kadi F. Neuromuscular fatigue and recovery in elite female soccer: effects of active recovery. *Med Sci Sports Exerc*, 2008;40(2):372-80.
76. Tessitore A, Meeusen R, Pagano R, Benvenuti C, Tiberi M, Capranica L. Effectiveness of Active Versus Passive Recovery Strategies After Futsal Games. *The Journal of Strength & Conditioning Research*,2008;22(5):1402.

77. Nässi A, Ferrauti A, Meyer T, Pfeiffer M, Kellmann M. Psychological tools used for monitoring training responses of athletes. *Performance Enhancement & Health*,2017;5(4):125-33.
78. Howle K, Waterson A, Duffield R. Recovery profiles following single and multiple matches per week in professional football. *European Journal of Sport Science*,2019;19(10):1303-11.
79. Machado AF, Micheletti JK, Vanderlei FM, Nakamura FY, Leal-Junior ECP, Netto Junior J, et al. Effect of low-level laser therapy (LLLT) and light-emitting diodes (LEDT) applied during combined training on performance and post-exercise recovery: protocol for a randomized placebo-controlled trial. *Brazilian Journal of Physical Therapy*,2017;21(4):296-304.
80. Leal-Junior ECP, Vanin AA, Miranda EF, de Carvalho P de TC, Dal Corso S, Bjordal JM. Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis. *Lasers Med Sci*,2015;30(2):925-39.
81. Tomazoni SS, Machado C dos SM, De Marchi T, Casalechi HL, Bjordal JM, de Carvalho P de TC, et al. Infrared Low-Level Laser Therapy (Photobiomodulation Therapy) before Intense Progressive Running Test of High-Level Soccer Players: Effects on Functional, Muscle Damage, Inflammatory, and Oxidative Stress Markers.2019; vol2019.

ANNEXES- ANNEXE I- RESULTATS

	Biais de sélection		Biais de performance	Biais de détection	Biais d'attrition	Biais de notification	Autres biais	Nb de biais présents	Nb de biais ind.	Nb d'absence de biais	Type d'étude	Classification HAS
	Biais de génération d'une séquence de randomisation	Biais de dissimulation de l'allocation										
Bleuzen et al. (2012)	OUI	IND	OUI	IND	NON	NON	NON	2	2	3	EPCR	G ; A ; N : 1
Pinar et al.	OUI	NON	OUI	IND	NON	NON	NON	2	1	4	ECCR	G ; A ; N : 1
Finberg et al.	NON	IND	OUI	IND	IND	NON	NON	1	3	3	ECCR	G ; A ; N : 1
Argus et al.	OUI	NON	OUI	IND	NON	NON	NON	2	1	4	ECCR	G ; A ; N : 1
Bleuzen, Borne et al. (2014)	OUI	IND	OUI	IND	IND	NON	NON	2	3	2	ECCR	G ; B ; N : 2
Malone et al.	OUI	NON	OUI	IND	NON	NON	NON	2	1	4	ECCR	G ; A ; N : 1
Jajtner et al.	OUI	IND	OUI	IND	IND	OUI	NON	3	3	1	EPCR	G ; B ; N : 2
Taylor T et al.	NON	NON	OUI	IND	IND	NON	NON	1	2	4	ECCR	G ; A ; N : 1
Cochrane et al.	OUI	IND	OUI	IND	IND	NON	NON	2	3	2	ECCR	G ; B ; N : 2
Warren et al.	OUI	IND	OUI	IND	IND	NON	NON	2	3	2	ECCR	G ; B ; N : 2
Erten et al.	OUI	OUI	OUI	IND	IND	NON	OUI	4	2	1	ECNR	G ; B ; N : 2
Govus et al.	NON	IND	OUI	IND	IND	NON	OUI	2	3	2	EPCR	G ; B ; N : 2
De la Cámara et al.	OUI	IND	OUI	IND	IND	NON	NON	2	3	2	ECNR	G ; B ; N : 2
Nbre de Oui	10	1	13	0	0	2	2					
Nbre de Non	3	4	0	0	4	11	11					
Nbre d'Ind	0	8	0	13	9	0	0					
Total								27	30	34		
Nbre ECCR												8
Nbre EPCR												3
Nbre ECNR												2

Légende : IND : indéterminé ; EPCR : Essai Parallèle Contrôlé Randomisé ; ECCR : Essai Croisé Contrôlé Randomisé ; G ; Grade ; N : Niveau de preuve
 Les cases en jaune correspondent à des études G ; A ; N : 1 rétrogradées en G ; B ; N : 2 du fait d'un nb d'absence de biais < 3

Comparaison des variables de l'étude																
	Type d'étude	Démographie						Comparaison avec quelle type de récupération								
		Nb de participants	Nb d'hommes	Nb de femmes	sexe non précisé	âge	taille en cm	poids en kg	Nb	Passif	actif	COMP	CWI	HUM	MSG	CWT
Bieuzen et al.	EPCR	26	26	0		25,6	177	75	1	x						
Pinar et al.	ECCR	12	12	0		20,92	174,25	68,42	2	x				x		
Finberg et al.	ECCR	10	10	0		20	180,1	81,4	2	x						x
Argus et al.	ECCR	11			11	31	180,5	74,6	3	x		x				
Bieuzen, Borne et al.	ECCR	14	0	14		24,7	173,3	68,4	2	x	x					
Malone et al.	ECCR	19	19	0		28	178,7	76,4	2	x	x					
Jajtner et al.	EPCR	30	30	0		23,1	175,2	82,1	2	x			x			
Taylor Tet et al.	ECCR	28	28	0		20	180	85,8	1	x						
Cochrane et al.	ECCR	9	6	3		23,3	170	66,7	1	x						
Warren et al.	ECCR	21	21	0		20,4	185,9	86,5	2	x	x					
Erten et al.	ECNR	20	11	9		15,55	177,7	66,1	2	x		x				
Govus et al.	EPCR	32	18	14		21,15	176,72	69,15	2	x		x				
De la Cámara et al.	ECNR	9	9	0		21,1	177	62,2	2	x	x					
Moyenne		19	16	3		22,68	177,41	74,06	1,85							
Mini		9	6	3		15,55	170	62,2	1							
Max		32	30	14		31	185,9	86,5	2							
Total		241	190	40	11											
Nb d'études sur les 13			11	4	1					13	4	3	1	1	1	1

Paramètres ESNM						
	Nom de l'appareil	Durée d'application	Site (électrode)	Fq en Hz	I en mA	Impulsion en µs
Bieuzen et al. Oct 2012	Veinoplus	20 min	1 sur la partie médiane et 1 sur la partie centrale du mollet des deux jambes	1 puis 7 tous les 5 min ; 1,25,1,5 et 1,75	contraction visible mais confortable	240
Pinar et al. Déc 2012	CompexMI-Sport, Medicompex SA, Ecublens, Suisse	24 min	1 sur le muscle ischio-jambier sous le pli fessier et 1 sur le ventre des muscles ischio-jambiers	9 en 7 jusqu'à 1	10 à 20	400
Finberg et al. Mai 2013	Bodyflow	30 min	1 sur muscles adducteurs et 1 muscle gastrocnémien médial de chaque jambe	1 à 2	11	
Argus et al. Sept 2013	Bodyflow, Victoria, Australie	20 min	2 sur les muscles gastrocnémiens, 1 vaste latéral/1 vaste médial	15,7 ± 2,8		
Bieuzen, B et al. Avril 2014	LFES; Veinoplus Sport (AdRem Technology, Paris, France)	15 min	1 sur la partie médiocentrale du mollet sur la jambe gauche et 1 symétriquement sur la partie médiocentrale du mollet sur la jambe droite	250	en fonction tolérance	25 à 250
Malone et al. Sept 2014	NT2010, Biomedical Research Ltd, Galway, Irlande)	20 min	sur quadriceps et muscles ischio-jambiers	5	67,2 ± 8,4	500
Jajner et al. Mai 2015	Compex Performance US, DJO, LLC, Vista, CA	24 min	1 sur la cuisse point le plus proximal, 1 sur le vaste médial, 1 sur le vaste latéral	9 en 7 de 1 par séquence jusqu'à 1hz	supportable	
Taylor T et al. Mai 2015	FireflyTM, OnPulseTM, FirstKindTM	8h		1	27	140
Cochrane et al. 2015	FireflyTM	30 min	1 au centre de la tête de la fibula et 1 à l'arrière de la jambe, en dessous du creux poplité	1	27	100 à 140
Warren et al. Nov 2015	CompexSport (Compex Sport ; Compex Technologies LLC, Ecublens, Suisse)	5 X 6 min	fléchisseurs et extenseurs de l'avant-bras ; les ventres des muscles biceps brachiaux et triceps brachiaux ; le deltoïde antérieur et postérieur ; et les parties antérieures et postérieures du trapèze supérieur	9 sur 2 min puis 8 sur 2min puis 7 sur 2 min		250
Erten et al. 2016	Veinoplus	30 min				
Govus et al. Nov 2018	Compex Sport, CA, USA	20 min	1 au centre du ventre du muscle sur le droit fémoral, 1 sur le vaste médial et 1 sur le vaste latéral	7min à 9 puis 7 min à 7 et 6 min à 5		
De la Cámara et al. Dec 2018	Miha II de la marque Miha Bodytec,	20 min	corps entier	1	confortable	350
Moyenne		23 min *				
Mini**		6min				
Max		8h				

* en retirant les valeurs extrêmes max et mini ; ** en continu ; Légende : Fq = fréquence; I = intensité

Tableau récapitulatif partie 1 (4 volets, pour plus de lisibilité)

Nom de l'étude/ nom ESNM	Population	Formation/ sport	Durée entre chaque étude quand étude croisé	Concept de l'étude	Examen pré-intervention	Protocole de récupération
Bieuzen et al. Veinoplus	26 hommes	footballeurs masculins professionnels		2 séries de 10 minutes, séparées par une période de repos passif contrôlé de 10 minutes. Série = 30 secondes de CMJ (fréquence imposée : 0,7 Hz) et 30 secondes de rampeur à une puissance correspondant à 80% de P30sec avec une période de récupération de 30 secondes entre les exercices		Récupération sur 1 heure : 9h de sommeil ESNM : assis pendant 1 h avec une période de 20 min ESNM, 2 électrodes cutanées sur la partie médiane et centrale du mollet des deux jambes, fréquence de 1 Hz sur 5 min puis augmentation toutes les 5 min à 1,25 Hz puis 1,5 Hz puis 1,75 Hz, impulsion de 240 µs PAS : assis sur une chaise avec un minimum de mouvement pendant toute la période de récupération
Pinar et al. ComplexMI-Sport, Medicomplex SA, Ecublens, Suisse	12 hommes âge moyen : 20,92 (2,47) ans, masse corporelle : 68,42 (7,25) kg, taille : 174,25 (6,11) cm, - VO2max : 50,67 (4,37) ml · kg ⁻¹ · min ⁻¹	étudiants sportifs	48h, même heure	5 sessions ; repas identique entre les visites : o S1 et S2 : familiarisation avec le protocole, paramètres de performance de base (Wingate de base (WGb), test cyclo-ergomètre) o S3, S4, S5 : phase expérimentale Expérience : exercice de haute intensité, qui consistait en 6 séances d'exercice épuisantes (entrecoupées d'une récupération active)	échauffement léger standardisé de 5 mn et une courte période d'éirement (3 mn d'éirements statiques des groupes musculaires des ischio-jambiers, des mollets et des quadriceps)	Récupération sur 24 min ESNM : simultanée des deux membres inférieurs (quadriceps et muscles ischio-jambiers) Pour le quadriceps, une cathode sur la partie supérieure de la cuisse, et deux anodes sur le point moteur du vaste latéral et du médial. Pour les muscles ischio-jambiers, la cathode sous le pli fessier, et l'anode sur le corps des muscles ischio-jambiers. Fréquence de 9 Hz a diminué pendant la période d'intervention jusqu'à atteindre 1 Hz (temps de montée = 1,5 s ; largeur d'impulsion = 400 µs ; temps de descente = 0,5 s). Intensité la plus confortable (c'est-à-dire le niveau 10-20 mA). MSG : technique standardisée, synchronisée aux 2 jambes par 2 spécialistes avec huile minérale classique (10 ml par zone de massage) PAS : allongé en position couchée
Finberg et al. Bodyflow	10 hommes âge 20 ± 3 ans, taille 180,1 ± 10,1 cm, poids 81,4 ± 10,3 kg	clubs de football amateur locaux et clubs professionnels de football australiens	séances espacées sur 4 semaines	en 4 temps : o T1 : test d'évaluation de la force maximale à jeun pendant 72h, à jeun pendant 10h, réalisation d'exercices de résistance selon un protocole	échauffement standardisé de 10 mn : 6 tours STGC puis 10 min de repos	Récupération sur 30 min ESNM : 1 sur muscles adducteurs et 1 à la partie médiane du muscle gastrocnémien de chaque jambe. 1 à 2 Hz et 11 mA. CWT : immergés jusqu'à la taille tout en étant debout dans un bassin rempli d'eau, en alternant des immersions de 2 minutes d'eau froide (12°C ± 1°C) et d'eau chaude (30°C ± 1°C), répétées 6 fois (avec un temps de transfert de 30 s entre les bains) PAS : repos en position assise

<p>Argus et al. (Bodyflow, Victoria, Australie)</p>	<p>11 cyclistes âge = 31 ± 6 ans, masse = 74,6 ± 10,6 kg, taille = 180,5 ± 8,1 cm)</p>	<p>cyclistes très entraînés</p>	<p>> 48 heures dans un délai max de 14 jours, même heure</p>	<p>5 séances : S1 : familiarisation Séances 2 à 4 : consisté chacun en trois sprints de 30 secondes maximum (S1, S2, S3) sur un cyclo-ergomètre, séparés par des périodes de récupération de 30 minutes</p>	<p>Echauffement avant S1 : 3 min à 2,5 W/kg, 3,0 W/kg et 4,0 W/kg ; 60 s de repos passif ; 2 sprints courts Echauffement avant S2 et S3 : 1 minute pour retirer le dispositif/vêtement de récupération, 1 minute à 3,0 W/kg et 4,0 W/kg, 2 sprints courts</p>	<p>Assis en position semi-incliné sur 20 min : ESNM : Quatre électrodes ont été placées sur les muscles gastrocnémiens et vastus latéral/ vastus médial (vaste latéral 10 premières mn, vaste médial 10 mn suivantes), Fréquence 15,7 ± 2,8 Hz, Mode Bodyflow COMP : manchons de compression pour les jambes (mailleole médiale jusqu'au pli inguinal) HUM : Air chaud humidifié (38°C/100% d'humidité relative à un débit de 45 L/min) délivré par une canule nasale à l'aide d'un humidificateur Airvo PAS : Les sujets étaient assis dans une pièce à température contrôlée pendant la période de récupération sans intervention de récupération.</p>
<p>Bieuzen, Borne et al. LFES, Veinoplus Sport (AdRem Technology, Paris, France)</p>	<p>14 femmes 24,7 ± 3,8 ans ; 173,3 ± 5,2 cm ; 68,4 ± 8,2 kg</p>	<p>handball de haut niveau</p>	<p>7 jours, même heure</p>	<p>3 sessions composés de deux tests intermittents de type Yo-Yo (YYIR2; niveau 2) entrecoupés de 15 min de récupération.</p>	<p>Récupération sur 15 min : ESNM : assis sur une chaise, sur la partie médiocentrale du mollet sur la jambe gauche et la deuxième électrode a été placée symétriquement sur la partie médiocentrale du mollet sur la jambe droite ; fréquence 250 Hz et une durée d'impulsion modulée de 2,5 à 250 µs PAS : assis sur une chaise ACT : pédaler sur l'ergocycle à freinage électromagnétique</p>	<p>Récupération sur 15 min : ESNM : assis sur une chaise, sur la partie médiocentrale du mollet sur la jambe gauche et la deuxième électrode a été placée symétriquement sur la partie médiocentrale du mollet sur la jambe droite ; fréquence 250 Hz et une durée d'impulsion modulée de 2,5 à 250 µs PAS : assis sur une chaise ACT : pédaler sur l'ergocycle à freinage électromagnétique</p>
<p>Malone et al. NT2010, Biomedical Research Ltd, Galway, Irlande)</p>	<p>21 hommes mais 19 inchs pour analyse (28 ± 7 ans ; 178,7 ± 6,3 cm ; 76,4 ± 10,4 kg ; taux de graisse corporelle : 10,8 ± 5,3 % ; V O2max : 56,8 ± 6,4 ml.min-1.kg-1)</p>	<p>cyclistes pratiquant la compétition sur route, ou le triathlon, s'entraînant au moins 3X/semaine et en compétition au moins 1X par mois</p>	<p>72h minimum</p>	<p>4 séances sur cycloergomètre : o S1 : évaluation du niveau d'entraînement et de la puissance maximale aérobie, familiarisation avec l'ESNM, réglages personnels du cycloergomètre o S2-S4 : Exercice aérobie de 3 minutes maximum (105 % de PV O2max, à 100tours de pédalier/min, avec encouragements standardisés) Journal des aliments et des activités au cours des 24 heures précédant la première séance qu'il devaient reproduire avant chaque séance, pas de caféine, bonne hydratation</p>	<p>S2-S4 : Echauffement standardisé de 8 min</p>	<p>Récupération de 30 min mais que 20 min d'ESNM. ESNM : électrodes aux quadriceps et aux muscles ischio-jambiers ; 4 impulsions de 500µs à une fréquence de 5 Hz, intensité la plus haute tolérable (67,2 ± 8,4 mA) PAS : couché avec un angle du dossier de 15 degrés ACT : cyclisme à 30% de la puissance maximale aérobie</p>

Jajner et al. Compex Performance US, DJO, LLC, Vista, CA.	30 hommes (âge 23,1 ± 2,9 ans, taille 175,2 ± 7,1 cm, poids 82,1 ± 8,4 kg) 3 groupes : CON (âge 23,8 ± 3,0ans, taille 178,3 ± 5,6 cm, poids 85,7 ± 5,4 kg), NMES (âge 23,0 ± 3,0 ans, taille 175,9 ± 7,6 cm, poids 83,5 ± 9,8 kg), CWI (âge 22,9 ± 2,9 ans, taille 170,6 ± 6,6 cm, poids 77,1 ± 8,2 kg)	habités et entraînés aux efforts en résistance depuis 6,5 +/- 3,5 ans et une 1 RM moyenne en squat de 151 +/- 31 kg	En 4 temps : o T1 : test pour évaluer la force maximale o T2 : pas d'activité pendant 72h, à jeun pendant 10h, réalisation d'exercices de résistance selon un protocole o T3 (à 24h) et T4 (à 48h) : exercices de résistance selon protocole avec journal diététique sur ces 2 jours, o Protocole : exercice de résistance des MI = 4 séries : exercices de squat, dead-lift, et barbell split squat (90 secondes de repos entre les répétitions et entre les exercices). Exercice de squat à 80% de la 1RM, et exercices dead-lift et barbell split-squat à 70%. Faire autant de répétitions que possible, sans dépasser 10 répétitions	ESNM : pendant 24 min, mode de récupération, 1 électrode négative sur la cuisse au plus proximal et 2 électrodes positives : une sur le vaste médial, l'autre sur le vaste latéral, 9 séquences : 3 séquences de 2 min, et 6 séquences de 3 minutes, Intensité la plus élevée supportable, Fréquence débute à 9 Hz, chutant de 1 Hz par séquence jusqu'à 1Hz. CWI : immersion complète du bas du corps (assis dans l'eau jusqu'à leur ombilic) pendant 10 minutes, eau glacée entre 10 à 12°C, immédiatement après la prise de sang et les échos post-exercice au T2 et au T3. Puis repos sur 20 min PAS : 30 minutes en position couchée		ESNM porté pendant 8 heures, fréquence de 1 Hz, intensité de 27 mA, largeur d'impulsion de 140 µs. PAS
Taylor et al. FireflyTM, OnPulseTM, FirstKindTM	28 hommes (âge 20 +/- 4 ans, taille 1,80 +/- 0,08m, poids 85,8 +/- 18,7kg)	sportifs pro : 12 rugbymen et 16 footballeurs	Après nouvel échauffement de 10 min : 6 sprints répétés à vitesse maximale sur piste indoor de 50m (5 min de récupération entre chaque session)	ESNM porté pendant 8 heures, fréquence de 1 Hz, intensité de 27 mA, largeur d'impulsion de 140 µs. PAS	5 min d'échauffement standardisé	ESNM porté pendant 8 heures, fréquence de 1 Hz, intensité de 27 mA, largeur d'impulsion de 140 µs. PAS
Cochrane et al. FireflyTM (technologie OnPulseTM, FirstKind Ltd, Cheshire, Royaume- Uni)	9 participants : 6 hommes et 3 femmes âge 23,3 ± 2,8 ans ; taille 1,70 ± 0,1 m ; poids 66,7 ± 10,2 kg	activité modérée au moins trois fois par semaine	V1 : familiarisation avec le Wingate Test et l'appareil d'ESNM V2 et V3 : Wingate Test de 30 s o Même apport alimentaire, pas de caféine dans les 24h et abstention d'activité physique	ESNM : au centre de la tête de la fibula, et à l'arrière de la jambe, sous le creux poplité, 27 mA, impulsion ajustable entre 100 et 140 µs, fréquence de 1 Hz, assis sur une chaise PAS : Assis sur une chaise	V2 et V3 : échauffement (100 W) sur un cyclo- ergomètre freiné électroniquement pendant 3 min avec 1 min de repos	Récupération sur 30 min : ESNM : au centre de la tête de la fibula, et à l'arrière de la jambe, sous le creux poplité, 27 mA, impulsion ajustable entre 100 et 140 µs, fréquence de 1 Hz, assis sur une chaise PAS : Assis sur une chaise
Warren et al. Compex Sport; Compex Technologies LLC, Ecublens, Switzerland	21 hommes (âge = 20,4 +/- 1,4 ans ; taille = 185,9 +/- 8,4 cm ; poids = 86,5 +/- 8,9 kg ; pourcentage de graisse corporelle = 11,2 +/- 2,6	lanceurs de baseball	o 3 séances test o match simulé : 5 manches composées de 5 lancers pr échauffement à des vitesses sous-maximales, puis 14 lancers (balles rapides) à 95% de leur meilleure vitesse de lancer, avec 20 secondes de repos entre chaque lancer soit 25 lancers d'échauffement au total, 70 lancers de jeu au total et hydratation de 20 onces d'eau par match.	ESNM : fléchisseurs et extenseurs de l'avant-bras ; les corps des muscles biceps brachiaux et triceps brachiaux ; le deltoïde antérieur et postérieur ; et les parties antérieures et postérieures du trapèze supérieur, 9 Hz sur 2 min puis 8Hz sur 2min puis 7Hz sur 2 min PAS : assis sur une chaise ACT : pédaler sur un ergomètre à bras en position assise	échauffement normal d'avant-match : courir à faible intensité puis échauffement actif et dynamique du haut et du bas du corps puis jeu de balle pendant 10-15 minutes puis marcher et 20 à 30 lancers	Récupération entre les manches donc 5 x 6 min : ESNM : fléchisseurs et extenseurs de l'avant-bras ; les corps des muscles biceps brachiaux et triceps brachiaux ; le deltoïde antérieur et postérieur ; et les parties antérieures et postérieures du trapèze supérieur, 9 Hz sur 2 min puis 8Hz sur 2min puis 7Hz sur 2 min PAS : assis sur une chaise ACT : pédaler sur un ergomètre à bras en position assise

Erten et al. Veinoplus	20 athlètes (âge, 15,53±0,51 ans ; taille, 177,7±9,26 cm ; poids, 66,1±11,15 kg)	9 volleyeuses (15,89±0,33 ans ; 171,78±9,52 cm ; 60,44±4,97 kg) et 11 joueurs de basket-ball (15,27±0,46 ans ; 182,55±5,75 cm ; 70,73±12,81 kg)	?	trois sessions différentes : sur tapis roulant à 85% de la FC du seuil anaérobie pendant 30 min afin de fournir un épuisement aérobie o S1 : session de contrôle o S2 : Bas de compression o S3 : ESNM	un test d'exercice cardiopulmonaire et test musculaire isométrique (celui-ci a été précédé d'un cycle de 10 minutes à 30-60 tours/minute puis des exercices d'éirement des membres inférieurs pendant 5 min)	Récupération sur 30 min : ESNM : assis sur une chaise COMP : 20-30 mmHg, assis sur une chaise PAS : assis sur une chaise
Govus et al. Compex Sport, CA, USA	32 skieurs : 21 seniors (12 hommes, 9 femmes) et 11 juniors (6 hommes, 5 femmes)	skieurs de l'équipe nationale suédoise		compétition de ski de fond (sprint) en plein air comprenant quatre sprints d'une durée de 3-4 min ; la distance de la course était de 1570 m pour les hommes et les femmes et consistait en un prologue mené comme un contre-la-montre individuel, suivi de quarts de finale, de demi-finales et de finales	échauffement personnel	ESNM : débuté 3 à 4h après la compétition, sur muscles de la cuisse, 3 électrodes au centre du corps du muscle sur le droit fémoral, le vaste medial et le vaste latéral. Mode massage de récupération : pendant 20 min, dont 7 min à 9 Hz, 7 min à 7 Hz et 6 min à 5 Hz. La fréquence des impulsions était suffisamment forte pour provoquer une contraction musculaire, mais ne pas provoquer une douleur ou une gêne. COMP : sur tout le corps des vêtements COMP (Craft Sportswear TM, Borås, Suède) à pression modérée pour le haut et le bas du corps. Porté de 12h (après la compétition) jusqu'à 8h le lendemain avec un retrait de 2h de 16 à 18h pour l'entraînement. PAS : pas d'intervention de récupération
De la camara et al. Miha II de la marque Miha Bodytec	9 hommes	activités sportive modérées plus de 3X/semaine	7 jours	5 minutes d'exercice avec puissance augmentant de 60W par minute	échauffement identique : 2 min à 60w sur rameur	Sur 20 min ESNM : allongé sur le dos, corps entier, fréquence de 1 Hz, impulsion 350 µs. L'intensité la plus confortable possible PAS : allongé sur le dos ACT : pédalage sur cyclo-ergomètre, à une cadence de pédalage de 60 RPM et une puissance de 20W

Légende : COMP = vêtement de compression ; CWI = immersion dans l'eau froide ; HUM = Humidification d'air chaud ; MSG = massage ; CWT = immersion dans une alternance eau chaude /eau froide ; PAS = passive ; ACT = active

Tableau récapitulatif partie 2 (4 volets, pour plus de lisibilité)

Nom de l'étude/ nom ESNM	Période de analyse	Exercice post intervention	Mesure des résultats	Résultat (effet de la récupération)
Bieuzen et al. Veinoplus	Avant et après l'effort 1 heure et 24 heures après l'intervention		Douleur post-exercice par EVA Performance : la force explosive par la contraction volontaire maximale (MVC) des extenseurs du genou, la performance maximale de saut en contrebas (CMD), exercice complet de 30 secondes (P30sec) Sang : Concentrations en CK et LDH du plasma et NFS	Douleur post-exercice : pas d'effet de la récupération Performance : - MVC et CMJ : pas d'effet de la récupération - P30sec : plus élevée avec l'ESNM (101,1 +/- 7,7%) qu'avec PAS (88,8 ± 9,3%) 1h après l'intervention Sang : CK, LDH et NFS : pas d'effet de la récupération
Pinar et al. CompeXMI-Sport, Medicomplex SA, Ecublens, Suisse	FC : enregistrée en continu RPE et TQR : au repos, après les exercices, à la fin de l'intervention de récupération et après Wingate Test Lactate : au repos, 5 minutes après les exercices, à la fin de l'intervention de récupération, et 5 minutes après le Wingate Test Performance : avant l'expérience et après la récupération	échauffement léger standardisé de cinq minutes et une courte période d'étirement (trois minutes d'étirements statiques des groupes musculaires des ischio-jambiers, des mollets et des quadriceps)	FC par un cardiofréquencemètre (Polar® RS800) Effort perçu (RPE) a été évalué par l'échelle de Borg Qualité de la récupération (TQR) a été évaluée par l'échelle TQR Lactate par sang capillaire par l'analyseur de lactate Scout Performance : Variables du Wingate Test par une interface PC qui comprenait la puissance de crête (Pp) et la puissance moyenne (Pm).	FC : NS RPE : NS TQR : NS Lactate : NS Performance : NS
Finberg et al. Bodyflow	RPE et FC : au départ, à la mi-temps et à la fin du STGC Sang veineux : avant, 3 et 24h après exercice (mais CRP non dosé à 3h) Questionnaire sur la récupération perçue après chaque intervention	Repos assis 3h	Performance : somme des 15 temps individuels de 20 m de chaque série du STGC ; Sprint de 20 mètres enregistré à l'aide de portes de chronométrage électroniques, FC via un cardiofréquencemètre (Polar 625X, Finlande), Evaluation de l'effort perçu (EPR) via l'échelle de perception Borg Sang veineux : IL-6 avec méthode ELISA et CRP par méthode immunonéphélométrique Questionnaire sur la récupération perçue	Temps de sprint significativement plus rapide à 24h avec ESNM par rapport à PAS (p <0.05) mais NS entre ESNM et CWT et CWT et PAS IL6 et CRP : pas de différence avec les différents modes de récupération Perception de récupération est significativement plus importante avec ESNM que CWT et PAS (p<0.05)
Argus et al. (Bodyflow, Victoria, Australie)	Sang et TQR : 0, 10, 20 min après S1 et S2	Echauffement après S1, S2, S3 : 3 min à 2,0 W/kg suivi d'une installation de 1 min du dispositif	Lactate par sang capillaire Perception de la récupération (TQR) par échelle de Borg modifiée Classification du mode de récupération Performance : puissance moyenne	o COMP a produit une puissance moyenne plus élevée de S1 à S2 et de S1 à S3 par rapport à PAS. (probablement bénéfique) o HUM a produit une puissance moyenne plus élevée de S1 à S3 par rapport à PAS (probablement bénéfique) o Dans les groupes HUM et ESNM , réduction de la concentration de lactate par rapport au PAS au cours de la période de récupération 2 (possiblement bénéfique) o Aucun sujet n'a classé ESNM ou PAS comme récupération le moins efficace et deux ont classé la ESNM comme étant la plus efficace

<p>Bieuzen, Bome et al. LFES; Veinoplus Sport (AdRem Technology, Paris, France)</p>	<p>Sang : avant (Pre), immédiatement après (Post) et toutes les 3 min (Post 3 min, Post 6 min, Post 9 min, Post 12 min et Post 15 min) après le premier YYIR2 (YYIR2 #1) Performance, Evaluation RPE : après chaque test yoyo Echanges respiratoires, index de saturation des tissus du gastrocnémien latéral et FC : pendant la phase de récupération Perception subjective de la récupération : après la récupération</p>		<p>Performance (distance parcourue) Evaluation subjective de l'effort perçu (RPE) Fréquence cardiaque Echanges respiratoires et index de saturation des tissus du gastrocnémien latéral Perception subjective de la récupération avec une échelle de Lickert Sang capillaire : les ions lactate, pH et bicarbonates du sang.</p>	<p>Performance : différence entre test YYIR plus faible avec ESNM (98%) et ACT (81%) par rapport à PAS ; Effet de ESNM 65% plus importante que ACT Evaluation subjective de l'effort perçu : pas de différence entre les groupes FC : certainement inférieures avec PAS et ESNM par rapport à ACT ; FC moyenne probablement plus faible avec ESNM par rapport à PAS Echanges respiratoires et index de saturation des tissus du gastrocnémien latéral - VO2 : certainement inférieure avec PAS et ESNM par rapport à ACT - TSI moyen était presque certainement plus élevé avec ACT qu'avec ESNM et PAS Perception subjective de la récupération : presque certainement plus élevée avec ACT et ESNM par rapport à PAS pH et HCO3 : probablement plus élevés de la 3ème jusqu'à la fin de la récupération avec ESNM et ACT par rapport à PAS Lactate : - très probablement plus faible à 12 et 15 min post récupération (97%-99%) avec ACT par rapport à PAS et ESNM - probablement plus faible à 15 min post récupération (86%) avec ESNM par rapport à PAS</p>
<p>Malone et al. NT2010, Biomedical Research Ltd, Galway, Irlande)</p>	<p>FC et sang : - Avant effort, - Après effort, - Toutes les 5 min pendant la récupération, - Après le TLIM, - 5 min après le TLIM</p>	<p>S2-S4 : cycle aérobie maximal à 95 % pV O2max jusqu'à épuisement (TLIM).</p>	<p>Performance par score du TLIM FC Lactate : sang capillaire</p>	<p>Performance : TLIM est significativement plus court ($p=0.016$) pour l'ESNM que ACT. NS entre ESNM et PAS et entre ACT et PAS FC : significativement plus élevée avec ACT qu'avec PAS et l'ESNM ($p<0.001$). NS entre PAS et ESNM sauf à 5 et 15 minutes, où elle est significativement plus élevée avec ESNM Lactate : pendant la récupération : significativement plus faible pour ACT que pour PAS ou l'ESNM ($p<0.001$). NS entre PAS et ESNM</p>

<p>Jajner et al. Compex Performance US, DJO, LLC, Vista, CA</p>	<p>EVA, Sang, Echo : - Au départ - Immédiatement après l'exercice - 30 minutes après l'exercice - 2-4h et 48h après T2 (avant l'exercice T3 et T4)</p>	<p>Mesures de performance (puissance du bas du corps pendant le protocole de squat-exercice mesuré pour chaque répétition avec une unité de puissance Tendo) Mesures subjectives de douleur, de courbatures, et de récupération (EVA) Sang : concentrations de myoglobine, CK, IL10, IL 6, CRP Echographie : (fréquence fixée à 12 MHz, gain fixé à 50, gamme dynamique fixée à 72, et profondeur fixée à 5 cm) : Mesures sur le vaste externe (VL) et le droit fémoral (RF) de la jambe dominante (site repéré) par le même technicien, analyse par logiciel Image J</p>	<p>Mesures de performance : NS entre les groupes Mesures subjectives de courbatures, douleur, et récupération : NS entre les groupes Sang • CK : NS • Myoglobine : NS entre les groupes mais par analyse de déduction différence probable avec augmentation par rapport au post exercice immédiat avec ESNM par rapport au PAS et différence très probable d'augmentation par rapport au post exercice immédiat dans CWI par rapport au PAS. • IL-10 : NS mais par analyse de déduction probable augmentation à 30 min après récupération mais diminution plus importante à 48h avec CWI par rapport à ESNM et PAS • IL-6 : NS • CRP : NS Variations dans la constitution du muscle : NS</p>
<p>Taylor et al. FireflyTM, OnPulseTM, FirstKindTM</p>	<p>à l'arrêt de l'effort à 2h à 24h</p>	<p>Performance par la mesure du CMJ (puissance maximale en W et hauteur de saut en cm) ; Créatines Kinases (CK) par sang Capillaire ; Testostérone et cortisone dans la salive ; Douleur musculaire par l'échelle de Likert</p>	<p>ESNM améliore à 24h la puissance/la performance et la concentration en CK (p<0.001) ; ESNM n'influence pas les valeurs de cortisol ou de testostérone ; ESNM améliore à 2h et à 24h la perception de la douleur musculaire (p<0.001).</p>
<p>Cochrane et al. FireflyTM (technologie OnPulseTM, Firstkind Ltd, Cheshire, Royaume- Uni)</p>	<p>Performance : à chaque Wingate Test Sang : pendant la phase de récupération à 2 min, 5 min, 15 min et 30 min.</p>	<p>Performance : puissance de crête (PP), la puissance moyenne (MP), le temps avant la puissance de crête (TPP) et l'indice de fatigue (FI) Lactate sanguin en capillaire</p>	<p>Lactate : ESNM n'a pas accéléré l'élimination de lactatémie par rapport au PAS. Pas de différence significative (p>0,05) de lactatémie entre les traitements au début de la phase de récupération (après 2 min) Paramètres de performance de PP, FI et TPP, il n'y a eu aucun effet principal ou d'interaction (p>0,05), et la puissance moyenne qui n'a pas été réduite de manière significative (p>0,05) suite à l'ESNM</p>
<p>Warren et al. Compex Sport; Compex Technologies LLC, Eubelns, Switzerland</p>	<p>Performance : avant, après et 24h après l'effort FC : après chaque lancer et toutes les 30 secondes de la période de récupération Evaluation de l'effort perçu : après le dernier lancer de chaque manche et après chaque période de récupération Sang capillaire : après chaque manche, à la fin de la récupération de 6 minutes entre les manches.</p>	<p>Performance : amplitude du mouvement par goniomètre standard (3 mesure à chaque fois) FC Evaluation de l'effort perçu par échelle Borg Sang capillaire : lactatémie Préférence de récupération</p>	<p>Amplitude de mouvement : les méthodes de récupération n'ont pas influencé l'amplitude dans aucun plan bien qu'il y ait eu une légère augmentation transitoire de l'amplitude de rotation latérale quelle que soit la méthode de récupération FC : interaction statistique significative entre les différentes méthodes de récupération au fil du temps mais ESNM n'influence pas par rapport aux autres méthodes RPE : différence statistique significative dans la trajectoire du RPE dans le temps pour les 3 différentes méthodes de récupération, baisse du RPE pour PAS et ESNM (p < 0,01) Concentrations de lactate dans le sang : diminution significative avec ESNM (p < 0,001) Préférence de récupération : ESNM préférée par 18 des 21 participants.</p>

<p>Erten et al. Veinoplus</p>	<p>Performance : à droite à 15 minutes et à gauche à 30 min du début de la récupération Sang à 0, 3, 5, 15 et 30 min</p>	<p>• Récupération active immédiatement après la compétition de ski de fond: retour au calme actif de 15 minutes consistant en un jogging à 60-65% de la fréquence cardiaque maximale (HRmax) après avoir terminé leur dernière course de ski</p> <p>• Entraînement classique de 2h</p>	<p>Performance : tests isocinétiques pour les deux chevilles Sang capillaire : lactatémie</p>	<p>Lactate : pas de différence significative</p> <p>Performance :</p> <ul style="list-style-type: none"> o Chez les femmes, avec ESNM augmentation significative des valeurs de la flexion plantaire droite (FPD) ($P < 0,01$), de la flexion dorsale droite (FDD) ($P < 0,1$) et de la flexion plantaire gauche (FPG) ($P < 0,1$) par rapport aux mesures de contrôle. o Chez les hommes, avec ESNM, augmentation significative des valeurs de FPD ($P < 0,1$) et de FPG ($P < 0,1$) par rapport aux mesures de contrôle.
<p>Govus et al. Compex Sport, CA, USA</p>	<p>Sang, CMJ et la douleur :</p> <ul style="list-style-type: none"> - avant la compétition - 8h, 20h, 44h et 68 h après la compétition 	<p>• Récupération active immédiatement après la compétition de ski de fond: retour au calme actif de 15 minutes consistant en un jogging à 60-65% de la fréquence cardiaque maximale (HRmax) après avoir terminé leur dernière course de ski</p> <p>• Entraînement classique de 2h</p>	<p>Douleur musculaire perçue à l'arrivée sur le lieu de test en salle avec une échelle de douleur de 10 points</p> <p>Concentration CK et urée par sang capillaire immédiatement après chaque séance de test à l'aide d'un automate analyseur</p> <p>Fatigue neuromusculaire des membres inférieurs, les participants ont effectué deux CMJ avec au moins 30 s de récupération passive entre chaque saut. Un tapis de contact infrarouge automatisé a été utilisé pour mesurer la hauteur du saut</p>	<p>Ni le COMP ni l'ESNM n'ont favorisé la récupération des biomarqueurs sanguins, du CMJ ou de la douleur perçue après la compétition par rapport à PAS (tous $P > 0,05$) (aucun effet temps × condition = schéma de récupération similaire dans le temps pour chaque groupe)</p>
<p>De La Camara et al. Miha II de la marque Miha Bodytec</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Avant exercice - Immédiatement post-exercice, - à 5min, 12 min, et 20 min pendant la récupération, - à 24h post-exercice 	<p>• Récupération active immédiatement après la compétition de ski de fond: retour au calme actif de 15 minutes consistant en un jogging à 60-65% de la fréquence cardiaque maximale (HRmax) après avoir terminé leur dernière course de ski</p> <p>• Entraînement classique de 2h</p>	<p>Evaluation de la fatigue perçue (RPE) par échelle de Borg à 2 min et à 4 min durant l'exercice</p> <p>Douleur musculaire perçue par EVA</p> <p>Qualité de la récupération par l'échelle TQR</p> <p>Concentration en lactates dans le sang capillaire</p> <p>Fréquence cardiaque par cardiofréquence-mètre</p> <p>Pourcentage de saturation de l'hémoglobine dans les tissus par oxymètre de pouls</p> <p>Température par un thermomètre digital sublingual</p> <p>Pression sanguine</p> <p>Fatigue neuromusculaire par force de serrage, CMJ</p>	<p>Evaluation de la fatigue perçue (RPE) : NS</p> <p>Douleur musculaire : NS</p> <p>Qualité de la récupération : NS</p> <p>Lactates : NS</p> <p>Fréquence cardiaque : Différences significatives à 5 min de récupération avec PAS et ACT ($P = 0,045$, $P = 0,038$), NS à 12 et 20 min</p> <p>Saturation : Différence significative entre le niveau basal et le niveau post-récupération avec ESNM ($P = 0,023$, $ES = -0,75$)</p> <p>Température : NS</p> <p>Pression sanguine : Différences significatives pour PASystolique entre les 3 méthodes à 5min et 12min de récupération ($p = 0,004$ et $p = 0,002$) ; différence entre l'ESNM et PAS ($p = 0,008$, $p = 0,008$) et entre ACT et PAS ($p = 0,021$, $p = 0,008$). NS à 20 min et pour PADiastolique</p> <p>Fatigue neuromusculaire :</p> <ul style="list-style-type: none"> - force de serrage : augmentation significative pour ACT ($p = 0,038$), NS pour PAS et ESNM - CMJ : NS

ANNEXE II – FICHES DE LECTURE

<p>Titre de l'article</p> <p>The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players</p>
<p>Auteurs/année/vol/page</p> <p>Taylor T, West DJ, Howatson G, Jones C, Bracken RM, Love TD, et al. The impact of neuromuscular electrical stimulation on recovery after intensive, muscle damaging, maximal speed training in professional team sports players. J Sci Med Sport. 2015;18(3):328-32.</p>

<p>Lien</p> <p>https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24785367-the-impact-of-neuromuscular-electrical-stimulation-on-recovery-after-intensive-muscle-damaging-maximal-speed-training-in-professional-team-sports-players/</p>
<p>Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation</p> <p>Grade B, niveau 2</p>
<p>Accédé le</p> <p>24/10/2019</p>

<p>Introduction</p>	<p>Objectifs</p> <p>Evaluer l'impact d'un appareil d'ESNM sur la fonction neuromusculaire, les marqueurs biochimiques, hormonaux, et sur la fatigue perçue, au sein d'équipes professionnelles de rugby et de football, à 24h après un effort intense.</p>
	<p>Question de recherche</p> <p>Quelle est l'efficacité de l'ESNM à 24h sur la fonction neuromusculaire, sur la fatigue perçue, et sur les marqueurs biochimiques et hormonaux ?</p>
	<p>Hypothèse de recherche</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'ESNM faciliterait la récupération après une activité intense et répétée chez le sportif de haut niveau. • L'ESNM aiderait à la clairance des CK, à la diminution de la fatigue perçue, à la diminution des concentrations de testostérone et de cortisone. • L'ESNM améliorerait les performances à 24h.
	<p>PICO</p> <p>Participants : 28 hommes, 16 à 24 ans, sportifs pro dont 12 rugbyman et 16</p>

	<p>footballeurs.</p> <p>Intervention : ESNM porté pendant 8 heures après les sprints. Courant de 1 Hz, intensité de 27 mA, largeur d'impulsion de 140 μs.</p> <p>6 sprints répétés à vitesse maximale sur piste, avec 5 mn de récup.</p> <p>Comparaison : mesures d'évaluation principales du groupe intervention ESNM vs groupe contrôle 2h et 24h post-sprint.</p> <p>Outcome : mesure du CMJ : puissance max et hauteur de saut, mesure CK, avant, juste après, après 2h et 24h de l'effort.</p>
Méthodes	<p>Population étudiée (sélection)</p> <p>28 hommes (20 +/- 4 ans, taille 1,80+/-0,08m, masse 85,8+/-18,7kg) sportifs pro dont 12 rugbyman et 16 footballeurs. Informés sur risques de l'étude + consentement éclairé.</p>
	<p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Hommes jeunes, pratiquant foot ou rugby à haut niveau à l'université.</p>
	<p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>ECCR. Les 28 sportifs de l'étude font à la fois partie du groupe intervention et du groupe contrôle à 7 jours d'intervalle. Mesures réalisées au même horaire le même jour : dans un labo du sport avec contrôle de la température ambiante, et sur une piste d'athlétisme indoor adjacente au labo. L'ordre de passage des athlètes était aléatoire et équilibré.</p>
Résultats	<p>CMJ significativement meilleure à 2h et 24h par ESNM ($p < 0.001$) vs contrôle.</p> <p>Hauteur de saut significativement meilleure par ESNM à 24h vs contrôle.</p> <p>CK significativement meilleure par ESNM à 24h.</p> <p>Douleurs musculaires perçues significativement plus faibles par ESNM à 2h et 24h.</p>

Discussion	<p>Discuter critères de jugement et biais</p> <p>Mécanismes explicatifs de l'amélioration de la fonction neuromusculaire par ESNM vs contrôle inconnus, malgré hypothèse sur augmentation du flux sanguin : élimination des métabolites, effet sur production de force, plus d'O₂ et nutriments vers tissus, diminution inflammation et courbatures.</p> <p>Rôle de la durée d'application de l'ESNM à interroger : 8h. Quelle durée optimale de pose ?</p>
-------------------	---

	<p>Rôle ESNM dans réduction des courbatures, douleurs musculaires perçues à 24h. ESNM améliore-t-elle la performance physiologiquement ou secondairement par amélioration de la perception de récupération ?</p> <p>Effet placebo possible car pas d'aveugle.</p>
	<p>Réponse à la question annoncée</p> <p>ESNM améliore marqueurs biologiques, perceptuels, et de performance à 24h.</p>
	<p>Conclusion</p> <p>ESNM améliore marqueurs biologiques perceptuels, et de performance à 24h.</p> <p>De futures recherches doivent porter sur la durée optimale d'utilisation de l'ESNM pour un large panel de sports, et combinaison avec d'autres méthodes de récupération pour voir si récupération à 24h peut encore être améliorée.</p>
<p>Forme de l'article</p>	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p> <p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade B, niveau 2</p>

Titre de l'article

Malone JK, Blake C, Caulfield B. Neuromuscular Electrical Stimulation: No Enhancement of Recovery From Maximal Exercise. International Journal of Sports Physiology and Performance. sept 2014;9(5):791-7.

Auteurs/année/vol/page

Malone JK, Blake C, Caulfield B/2014/ International Journal of Sports Physiology and Performance.9(5):791-7.

Lien

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24338058>

Niveau de preuve (ANAES)/**Grade de recommandation**

Grade A, niveau 1.

Accédé le

12/12/2019

Introduction	Objectifs	
	<ol style="list-style-type: none"> 1) Evaluer l'efficacité de l'ESNM (sur les membres inférieurs, appliquée 30 mn post-exercice) à visée de récupération, comparée à d'autres méthodes de récupération. L'ESNM étant utilisée entre 2 exercices d'intensité aérobie maximale. 2) Evaluer les interactions entre l'utilisation de l'ESNM, la fréquence cardiaque (FC), la lactatémie sanguine, et la fatigue post-exercice. 	
	Question de recherche	
	<p>Quelle est l'efficacité de l'ESNM sur la récupération entre 2 efforts à intensité aérobie maximale par rapport à des méthodes de récupération classiques ?</p>	
Hypothèse de recherche		
<p>L'ESNM serait efficace, par augmentation du flux sanguin systémique, pour diminuer la lactatémie, et améliorer les performances ultérieures, comparativement à la récupération passive</p>		
PICO		Participants : 21 cyclistes masculins <u>amateurs</u> volontaires, dont 2 empêchements pour raison professionnelle → 19 cyclistes masculins amateurs (28 +/- 7 ans, taille 178,7 +/-6,3 cm, masse 76,4+/-

		<p>10,4kg ; masse grasse : 10,8 +/- 5,3 % ; VO2max : 56,8 +/- 6,4 mL/mn/kg). Cyclistes pratiquant la compétition sur route, ou le triathlon, s'entraînant au moins 3X/semaine et en compétition au moins 1X par mois.</p> <p>Intervention : 3 mn à 105% de PVO2max, puis 30 mn de récupération par une des méthodes suivantes : ESNM, récupération passive (PAS), récupération active (ACT). Immédiatement après, exercice à 95% de PVO2max jusqu'à épuisement (mesure durée TLIM). A TLIM, scores de performance selon les 3 méthodes de récupération sont relevés et comparés. Monitoring de la réponse physiologique pendant exercices et récupération par enregistrement de FC et lactatémie.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 4 sessions, cycloergomètre, même heure jour +/-1h. - >= 72h entre les sessions. - pas d'exercice, pas d'alcool, alimentation et hydratation normales, 24 h avant. Pas de caféine le jour J. - nutrition contrôlée. - S1 : évaluation du niveau d'entraînement et de la PMA par test incrémental sur cycloergomètre. Familiarisation avec l'appareil d'ESNM (500µs, 5 Hz, 20 mn), les sujets ont choisi un courant de 67,2 +/- 8,4 mA. - S2-S4 : échauffement standardisé, puis 3 minutes à 105% de PVO2max à 100 tr/mn, avec encouragements standardisés. Puis récupération de 30 mn soit passive, sujet couché sur un lit, soit active, faisant du vélo à 30% de la PMA, TLIM est noté dès que <70 tr/mn, soit avec l'ESNM (5 minutes allouées en plus pour mettre et enlever l'appareil). Puis séance jusqu'à épuisement (TLIM) à 95% PVO2max. <p>Comparaison : ESNM vs actif vs passif.</p> <p>Outcome : mesure de TLIM, FC et lactatémie pendant exercices et récupération.</p>
Méthodes	Population étudiée (sélection) Cyclistes masculins entraînés en bonne santé	

	<p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Critères d'inclusion/exclusion : cyclistes masculins entraînés en bonne santé, de 18 à 40 ans, sans blessure de moins de 3 mois, et sans complications métaboliques et cardiovasculaires aiguës ou chroniques. Les participants sont volontaires, ont exprimé leur consentement éclairé, pouvaient se retirer à tout moment sans motif.</p> <p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>ECCR. L'intervention est répétée dans temps.</p>
<p>Résultats</p>	<p>Performance</p> <p>TLIM est significativement plus court ($p=0.016$) pour l'ESNM que pour la récupération active. NS entre ESNM et CON et entre actif et CON.</p> <p>FC</p> <p>Elle était significativement plus élevée avec l'actif qu'avec la modalité passive et l'ESNM ($p<0.001$). NS entre CON et ESNM sauf à 5 et 15 minutes, où elle est légèrement plus élevée avec ESNM.</p> <p>Lactates</p> <p>Lactatémie significativement plus faible pour l'actif que pour CON ou ESNM ($p<0.001$). NS entre CON et ESNM.</p>

<p>Discussion</p>	<p>Discuter critères de jugement et biais</p> <p>La modalité active a un effet sign. plus important sur la lactatémie que l'ESNM, et une FC sign. plus élevée également. TLIM était sign. plus court après ESNM versus récupération active. La période courte de récupération entre deux exercices ne permettait pas le retour de FC et de lactatémie aux valeurs basales, afin de mimer les efforts des sports de résistance.</p>
	<p>Réponse à la question annoncée</p> <p>La performance lors d'un effort en aérobie maximale après ESNM est moins bonne qu'après récupération active (mais NS entre ESNM et passif, et entre actif et passif). La clairance est meilleure pour le groupe actif, avec une FC plus élevée, que pour le groupe passif ou ESNM. Sur ce point, NS entre</p>

	<p>ESNM et modalité passive.</p> <p>Concernant les lactates, pas de baisse sign. plus rapide avec ESNM versus récupération passive</p> <p>Notons que des études récentes suggèrent le peu d'effets de la lactatémie sur la fatigue musculaire.</p> <p>Conclusion</p> <p>La récupération entre deux efforts à intensité maximale aérobie chez le cycliste grâce à l'ESNM est moins efficace que la récupération active et comparable à la récupération passive.</p>
Forme de l'article	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p> <p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade A, niveau 1.</p>

Titre de l'article

Jajtner AR, Hoffman JR, Gonzalez AM, Worts PR, Fragala MS, Stout JR. Comparison of the effects of electrical stimulation and cold-water immersion on muscle soreness after resistance exercise. J Sport Rehabil. 2015;24(2):99-108.

Auteurs/année/vol/page

Jajtner AR, Hoffman JR, Gonzalez AM, Worts PR, Fragala MS, Stout JR/2015/24(2):99-108

Lien

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24622577>

Niveau de preuve (ANAES)/

Grade de recommandation

Grade B, niveau 2.

Accédé le

28/12/2019

Introduction	<p>Objectifs</p> <p>Objectif principal : évaluer l'efficacité de l'ESNM et de l'immersion en eau froide à visée de récupération post-exercice de haute intensité chez des sportifs masculins entraînés à ce type d'effort.</p> <p>Objectif secondaire : identifier les variations des marqueurs de lésions musculaires, d'inflammation, de la fonction immunitaire, en tant qu'effets de ces modalités de récupération.</p>
	<p>Question de recherche</p> <p>Quelle est l'efficacité de l'ESNM en comparaison de l'immersion en eau froide en tant que modalités de récupération après une session d'entraînement de haute intensité en résistance chez des athlètes masculins habitués à ce type d'exercice ?</p>
	<p>Hypothèse de recherche</p> <p>L'ESNM pourrait améliorer la fonction musculaire et la récupération et influencer directement la performance sportive. La CWI permettrait de réduire les courbatures musculaires après des exercices de haute-intensité mais pas après des exercices excentriques. La CWI permettrait de réduire les valeurs de CK, de</p>

	myoglobines, et de protéines C-réactives vs CON..
Méthodes	<p>Population étudiée (sélection), PICO</p> <p>30 hommes volontaires habitués et entraînés aux efforts en résistance depuis 6,5 +/- 3,5 ans et une 1-RM moyenne en squat de 151 +/- 31 kg.</p> <p><u>Intervention :</u></p> <p>4 sessions :</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) S1 = Etablissement de la 1-RM 2) S2= Après 72h sans exercice, et à jeun pendant 10h, exercice de résistance des MI = 4 séries d'exercices. Participants encouragés à faire autant de répétitions que possible, max 10 répétitions. 3) S3= 24h post-S2 : 4 mêmes séries qu'en S2 4) S4= idem. <p><u>ESNM :</u> sujet couché, ESNM pendant 24 mn juste après S2 (après prise de sang post-exercice et échographie), et immédiatement en post-exercice en S3. Une grande électrode négative sur cuisse proximale, et deux petites électrodes positives sur VM et VL du quadriceps.</p> <p>Le protocole d'ESNM de récupération consiste en 9 séquences : 3 séquences de 2 mn, et 6 séquences de 3 minutes.</p> <p>L'intensité est réglée au plus haut niveau jugé confortable par le patient, et la fréquence débute à 9 Hz, chutant de 1 Hz par séquence jusqu'à 1 Hz.</p> <p><u>CWI</u></p> <p>Immersion bas du corps (assis jusqu'au nombril, pendant 10 mn) dans une eau à une T compris entre 10 à 12°C en S2 immédiatement après la prise de sang et l'échographie, et immédiatement en post-exercice après S3. Puis patients restent au labo pendant 20 mn (durée totale 30 mn comme ESNM et CON)</p> <p><u>Comparaison</u></p> <p>ESNM vs immersion corps entier vs groupe contrôle.</p> <p><u>Outcome</u></p> <p>Prises de sang, échographie, et mesures subjective des courbatures, de la douleur prises à 5 repères temporels : niveau basal, immédiatement post-exercice, 30 mn post-exercice, puis 24h (avant S3) et 48h (avant S4) après S2.</p> <p><u>Mesures de performance</u></p> <p>Echauffement standardisé avant chaque session, puis évaluation de la 1-RM. Puis</p>

exercices de squat, de dead-lifts, de barbell split-squat. Le nombre de répétitions et la puissance du bas du corps pendant le protocole d'exercices de squats est mesurée à chaque répétition par un appareil « Tendo ». La fiabilité R est d'après les auteurs supérieure à 90%.

Mesures subjectives de douleur, de courbatures, et de récupération

Utilisation d'une EVA –modifiée- par le patient pour évaluation des courbatures musculaires et des douleurs musculaires aux jambes. Les participants évaluent ces deux fatigues à 24h et 48h. Mesures subjectives de la récupération à 24h et 48h.

Mesures sanguines

Prises de sang aux 5 repères temporels : niveau basal, immédiatement post-exercice, 30 mn post-exercice, puis 24h et 48h après S2. Taux mesurés après 1 mn de repos. Aux temps S3 et S4, des prises de sang uniquement pré-exercices sont effectuées.

Analyses biochimiques

Détermination des concentrations de myoglobine, des taux de créatine-kinases (CK). Pour éliminer les variations entre les essais, tous les échantillons d'un même test sont décongelés ensemble et analysés par un seul et même technicien.

Echographie

Fréquence fixée à 12 MHz, et profondeur fixée à 5 cm). Mesures collectées sur le vaste latéral (VL) et le droit fémoral (RF) de la jambe dominante par le même technicien (limite erreurs = diminue biais de mesure) Les sites d'échographie ont été marqués et maintenus constants pendant toute la durée de l'étude. Une fois les images recueillies, l'analyse a été effectuée à l'aide du logiciel Image J.

Diététique

Consignation de la consommation pendant les jours d'entraînement S2 et S3. Ils ne devaient pas manger ou boire (sauf eau) avant de se rendre au labo de tests.

Critères d'inclusion/exclusion

Critères d'inclusion

- Min. d'un an de sport de résistance, not. squat.
- Pas de compléments alimentaires ou médicaments pendant l'étude. Surveillance par questionnaire sur l'historique de santé, rempli avant le recrutement dans l'étude.
- Pas d'autre stratégie de récupération en complément, sauna, routines d'étirements, rouleaux en mousse, massages, thérapie par eau chaude/froide.

	<p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai Contrôlé Randomisé Parallèle.</p>
Résultats	<p><u>Performances</u></p> <p>Différences NS entre les groupes.</p> <p><u>Mesures subjectives de courbatures, douleur, et récupération perçue</u></p> <p>Différences NS entre les groupes à 24h/48h.</p> <p><u>Analyse biochimique</u></p> <p>Différences d'évolution NS des CK entre les groupes.</p> <p>Différences NS sur myoglobine entre les groupes. Mais augmentations respectivement probablement et très probablement plus importantes pour l'ESNM et la CWI, comparativement au groupe contrôle, à 30 mn post-exercice.</p> <p>Sur les IL-10 : différences NS. Cependant, observation d'un effet temporel ($p < .001$) : IL10 plus élevées à 30 mn post exercice qu'en pré, et qu'à 24h et 48h.</p> <p>Sur les IL-6 : aucune interaction sign. ou effet principal sur les variables temps, et groupe.</p> <p>Sur les CRP : différences NS mais existence d'un effet significatif temporel ($p = .010$). Concentration en CRP à 24h sign. plus élevée qu'à 30 mn post-exercice et qu'à 48h. Variations en CRP du post-exercice immédiat à 24h sont probablement plus grandes avec la CWI qu'avec l'ESNM. Variations avec l'ESNM sont cependant possiblement moins importantes qu'avec le groupe contrôle.</p> <p><u>Variations dans la constitution du muscle</u></p> <p>Sur variations d'écho-intensité du DF dans le temps, différences NS entre groupes, mais au sein d'un même groupe, l'écho-intensité du droit fémoral était sign. plus importante en post-exercice immédiat qu'en tout autre instant. Les diminutions d'écho-intensité du droit fémoral du post-exercice immédiat jusqu'à 48h sont probablement plus grandes avec la CWI qu'avec le groupe contrôle, et l'ESNM.</p> <p>En considérant tous les groupes, une augmentation sign. de la section transversale est observée en post-exercice immédiat, comparativement à la mesure pré-exercice, à 30 mn, à 24h et 48h.</p> <p>L'écho-intensité du VL de tous les groupes combinés a diminué sign. du post-exercice immédiat à 30mn post-exercice.</p> <p>De plus, en post-exercice immédiat et à 30 mn post-exercice, l'EI du VL était</p>

	<p>sign. plus élevée comparée avec la mesure pré-exercice, à 24h, et à 48h. Aucune interaction ou effet majeur du groupe n'a été observé.</p> <p>La surface de section du VL a sign. cru du stade pré-exercice au post-exercice immédiat et a diminué à 30 mn. Cette valeur reste élevée à 24h et 48h. La différence entre 24h et 48h était statistiquement sign. (p=.003). Aucune interaction sign. ou d'effet majeur pour le groupe a été observé.</p>
--	--

<p>Discussion</p>	<p>Discuter critères de jugement et biais</p> <ul style="list-style-type: none"> • Limite de l'étude : <ul style="list-style-type: none"> la myoglobine = indicateur plus sensible des lésions musculaires squelettiques aiguës que la CK - Protocole d'entraînement hétérogènes rendant les comparaisons entre études difficiles. • Point important : <ul style="list-style-type: none"> - Le programme d'entraînement en S2 a entraîné des lésions musculaires vues par élévations concentrations de myoglobine et de CRP. - Elévations de l'écho-intensité immédiatement après exercice, et à 30 mn, et baisses de performance à S3 et S4. - CWI retarde la récupération dans les 30 premières minutes après l'exercice et améliore le profil inflammatoire les jours suivants, sans amélioration de performance - Différences de biomarqueurs des lésions musculaires et de l'inflammation suggèrent que la CWI peut réduire le processus de récupération aiguë par rapport à l'ESNM ou contrôle - Réponse plus élevée des CRP observée à 24H pour la CWI = meilleure récupération musculaire que dans les autres groupes - Probable augmentation de la CRP liée à son rôle dans la récupération musculaire - Variation de CRP par rapport au post-exercice immédiat pendant l'ESNM < au groupe contrôle mais son effet sur le remodelage musculaire après un épisode aigu d'exercice de résistance à grand volume n'est pas clair : effet anti-inflammatoire plus important après l'exercice, ce qui pourrait retarder la récupération musculaire - Echo-intensité = outil utile pour évaluer les dommages musculaires (écho-intensité plus élevée = diminution de la qualité musculaire par rapport à une écho-intensité plus faible) • Ouverture : Examiner l'efficacité de la CWI après un entraînement prolongé à haute intensité
--------------------------	---

	<p>Réponse à la question annoncée</p> <p>Les modalités de récupération CWI et ESNM ne donnent aucun avantage par rapport au groupe contrôle, sur les critères de récupération de la performance.</p> <p>Les changements en CRP et IL-10 après CWI suggèrent que la CWI peut améliorer les réponses pro et anti-inflammatoires responsables du remodelage musculaire. Ce bénéfice tardif est reflété par l'écho-intensité plus faible à 48h après CWI.</p> <p>Conclusion</p> <p>Une séance d'exercice en résistance à intensité modérée, à haut volume, des membres inférieurs induit des augmentations sign. des marqueurs de lésion musculaire, et par conséquent une diminution de la performance. Cependant, ni la CWI ni l'ESNM ne semblent pouvoir induire une meilleure récupération par rapport à la récupération passive, en termes de récupération de la performance. Des changements de concentration en CRP et IL-10 après CWI suggèrent que la CWI peut améliorer les réponses pro-inflammatoires et anti-inflammatoires, responsables du remodelage musculaire (cf. écho-intensité plus faible à 48h après CWI)</p>
Forme de l'article	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p> <p>Niveau de preuve selon HAS : grade B, niveau 2.</p>

<p>Titre de l'article</p> <p>De La Cámara Serrano MÁ, Pardos AI, Veiga ÓL. Effectiveness evaluation of whole-body electromyostimulation as a postexercise recovery method. J Sports Med Phys Fitness. 2018;58(12):1800-7.</p>
<p>Auteurs/année/vol/page</p> <p>De La Cámara Serrano MÁ, Pardos AI, Veiga ÓL/2018/58(12):1800-7.</p>

<p>Lien</p> <p>https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29308842</p>
<p>Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation</p> <p>Revue de littérature</p>
<p>Accédé le</p> <p>14/12/2019</p>

<p>Introduction</p>	<p>Objectifs</p> <p>Evaluer l'efficacité de la récupération par ESNM corps entier versus modalités active et passive.</p>
	<p>Question de recherche</p> <p>Quelles sont les stratégies optimales de nutrition et de récupération pour maximiser la performance dans les courses cyclistes de type critérium urbain, organisées en soirées et parfois sur toute une semaine ? (on ne s'intéresse ici qu'aux résultats sur les stratégies de récupération)</p>
	<p>Hypothèse de recherche</p> <p>Notre hypothèse est que l'utilisation d'ESNM corps entier pourrait conduire à une meilleure récupération en termes de marqueurs physiologiques et psychologiques, en comparaison avec l'ESNM locale –dont l'efficacité est mitigée d'après de nombreuses études- et avec les méthodes actives et passives.</p>
<p>Méthodes</p>	<p>PICO</p> <p><u>Population</u></p> <p>9 hommes volontaires en bonne santé. Sélectionnées par Université Autonome</p>

de Madrid.

Intervention et Comparaison

- 3 sessions espacées d'une semaine en laboratoire, protocole de récupération différent après chaque session.
- chaque session : échauffement standardisé puis 5 minutes d'exercice pour générer de la fatigue physique puis 20 minutes de récupération.
- Critères de jugement : RPE, douleur musculaire perçue, qualité de la récupération, concentration en lactates dans le sang, fréquence cardiaque, pourcentage de saturation de l'hémoglobine dans les tissus, température, pression sanguine, et la fatigue neuromusculaire
- Les mesures sont faites en condition basale, immédiatement post-exercice, à 5 min, 12 min, et 20 min pendant la récupération, puis à 24h post-exercice.

Méthodes de récupération : la récupération passive se fait sujet allongé sur le dos ; la récupération active sur cyclo-ergomètre à 60 RPM et 20W. La machine utilisée pour l'ESNM corps entier est un modèle Miha II de la marque Miha Bodytec, courant de 1 Hz et 350 μ s de largeur d'impulsion. Intensité réglée par le sujet pour être confortable.

Outcome

Anthropométrie : taille et composition corporelle.

- Lactates : en condition basale, immédiatement post-exercice, à 5 min, 12 min, et 20 min pendant la récupération, puis à 24h post-exercice.
- Pendant les exercices : évaluation de l'intensité de l'effort, de la fréquence cardiaque (cardiofréquencemètre Polar), et de l'échelle RPE sur une échelle de Borg allant de 6 (très facile) à 20 (très difficile). L'échelle RPE est évaluée à 2 min et à 4 min durant l'exercice.

Mesures physiologiques

FC, la température corporelle, la saturation des tissus StO₂ et la pression artérielle par un oxymètre de pouls portable. La concentration en lactates par un échantillon sanguin capillaire pris au doigt.

Fatigue neuromusculaire

L'échelle TQR. La TQR est similaire à l'échelle RPE Borg (Laurent et al.2011). Les courbatures musculaires sont évaluées avec une échelle EVA graduée de 0 à 10. Les conditions d'humidité et de température sont restées constantes car contrôlées en laboratoire : 59-63% d'humidité et 22/23°C de température.

Critères d'inclusion/exclusion

Hommes en bonne santé de plus de 18 ans et ayant un emploi du temps sportif d'activités modérées à une fréquence de plus de 3X/semaine pendant l'année précédente.

	<p>Les sujets sont triés d'après un questionnaire de santé et passent un examen médical pour mettre au jour tout problème de santé ou toute contre-indication médicale relative à l'exercice physique ou à l'utilisation de l'électrostimulation.</p> <hr/> <p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai Contrôlé Non Randomisé (ECNR)</p>
<p>Résultats</p>	<p><u>Evaluation de l'effort perçu (RPE)</u></p> <p>Aucune différence statistique significative mise au jour entre l'ESNM corps entier, la récupération active, et la récupération passive, sur le critère RPE (test du Khi-Deux, et valeur de p) relevé pendant l'exercice au temps 2 min et 4 min.</p> <p><u>Concentration en lactates</u></p> <p>Différences NS, que ce soit au temps 5 min, 12 min, et enfin 20 min. Bien qu'il n'y ait pas de différence significative, une tendance à cette différence apparaît aux temps 12 et 20 min, avec un p passant de 0.074 à 0.050.</p> <p>L'élimination des lactates par ESNM corps entier est plus longue que par les deux autres méthodes. Retour à des valeurs quasi-basales de lactatémie a été impossible par ESNM corps entier.</p> <p><u>Température corporelle</u></p> <p>Similaire dans les 3 méthodes. Aucune différence statistique significative n'a été trouvée aux temps 5min, 12 min, et 20min. Les 20 minutes de récupération n'ont pas été suffisantes pour retrouver la valeur pré-exercice (des différences significatives existent entre la valeur de température corporelle basale et la valeur post-récupération dans les 3 méthodes)</p> <p><u>Saturation en Hb</u></p> <p>Aucune différence sign. entre les méthodes aux différents temps, mais l'ESNM corps entier est la seule méthode présentant une différence significative entre le niveau basal et le niveau post-récupération de saturation en hémoglobine tissulaire.</p> <p><u>Fréquence cardiaque</u></p> <p><i>Existence de différences significatives</i> au temps 5 min de la récupération, uniquement entre récupération passive et active. Aux moments 12 et 20 min, aucune différence sign. entre méthodes. La durée de 20 min n'est pas suffisante pour retrouver la FC basale (la FC basale et la FC post-récupération sont significativement différentes pour les 3 méthodes)</p> <p><u>Pression sanguine</u></p>

Différences significatives sur le critère de la pression artérielle systolique aux temps 5min, 12min de récupération, entre l'ESNM corps entier et la récupération passive. et entre la récupération active et la récupération passive. Cependant, PAS de différence significative observée en fin de période de récupération (20min). Aucune différence significative de pression diastolique en revanche n'a été observée.

Force de serrage manuel

Différences significatives existent entre les niveaux de base de ce critère entre les 3 méthodes. Pour cette raison, les niveaux de force de serrage manuel ont été analysés indépendamment les uns des autres. La session d'exercice entraîne une diminution de la force de serrage pour les 3 méthodes comparé au niveau basal, bien que seul l'essai effectué pour la méthode ESNM corps entier soit significatif. Après récupération, la force de serrage augmente pour toutes les méthodes en regard des valeurs post-exercice, mais cette augmentation *est significative uniquement pour la récupération active*. Aucune différence significative n'est observée entre le niveau basal et le niveau post-récupération pour les 3 méthodes.

Saut à contre bas (countermovement jump)

Niveaux de base similaires dans les 3 méthodes. Les valeurs post-exercice sont *plus élevées* (effet de potentialisation) que les valeurs basales, bien qu'aucune différence significative n'existe entre les 3 méthodes.

Qualité de la récupération (échelle TQR)

La qualité de récupération pour les 3 méthodes a été perçue par les sujets comme très bonne (17/20 à l'échelle TQR), et aucune différence significative entre les méthodes. Notons que 24h après la session d'exercice, la récupération active recevait le meilleur score (18), les deux autres recevant le score de 17. Aucune différence significative entre les méthodes.

Douleur musculaire

Les sujets n'ont pas reporté de douleur musculaire après 24h.

Discussion

L'étude nous suggère que l'ESNM corps entier n'est pas plus efficace comme méthode de récupération que la récupération active ou passive, en accord avec résultats d'anciennes études sur ESNM locale: ces appareils permettent une clairance post-exercice équivalente voire moins bonne que celle obtenue par les méthodes de récupération active et passive.

Cependant, la fréquence de 1 Hz, bien qu'utilisée dans d'autres études sur le sujet, pourraient altérer l'effet de pompe musculaire, censé contribuer à la clairance des lactates.

De plus, l'ESNM corps peut paradoxalement même générer une hausse de

lactatémie.

Par ailleurs, le taux de saturation de l'hémoglobine tissulaire était plus faible en ESNM corps entier que dans les autres méthodes, ce qui était déjà observé avec l'ESNM locale.

L'augmentation du flux sanguin local censé se produire avec l'ESNM comme méthode de récupération, par l'augmentation de température, de fréquence cardiaque, de pression sanguine, ne se produit pas ici : il n'y a pas d'augmentation de la température centrale plus qu'avec les deux autres méthodes, comme avec l'ESNM locale. L'augmentation -fait démontré- de FC par l'ESNM, qui a été démontrée également comme contribuant à l'élimination des lactates, ne se produit pas plus avec l'ESNM corps entier qu'en récupération passive. C'est en accord avec les études sur l'ESNM locale. La PAS reste légèrement élevée durant la récupération par ESNM corps entier, ce qui équivaut aux effets de la récupération active. L'ESNM corps entier n'améliore pas le flux sanguin davantage que la récupération active ou passive.

Concernant la mesure de la fatigue neuromusculaire : la force de la main et des fléchisseurs de l'avant-bras diminuent après la séance dans toutes les méthodes. La diminution après la séance et après récupération n'étaient pas significatives pour toutes les méthodes, conformément aux résultats d'autres études antérieures. De plus, la récupération de la force était proportionnelle à la quantité de force perdue après l'exercice (pour chacune des méthodes).

Concernant la force des membres inférieurs, il n'y a aucune différence selon les méthodes, conformément aux études antérieures. Aucune différence donc selon les méthodes entre ESNM corps entier, récupération passive et active. Cependant, bien qu'aucune différence n'existe entre les méthodes, il faut prendre en compte le fait que la contraction musculaire est synchrone et fixe dans le cas de l'ESNM corps entier. Cela pourrait générer une fatigue des neurones moteurs, et une saturation des informations infraspinales, et par conséquent, une baisse de performance. Pour la force de serrage et le saut en contrebas, aucune méthode de récupération n'a permis le retour aux valeurs basales. Cela signifie que la fatigue neuromusculaire persiste après 20 minutes de récupération, à considérer dans ces sports où la restauration de la force est importante et le temps de récupération court.

Plusieurs études avaient montré une évolution de la perception subjective meilleure avec l'ESNM qu'avec les autres méthodes. Cependant, les résultats de notre étude sont indépendants de la méthode utilisée et similaires à d'autres résultats dans la littérature sur l'ESNM locale. Sur la réduction de la fatigue subjective, il est suggéré que l'ESNM peut avoir un effet potentiel, puisque appliquer de faibles fréquences à un muscle peut avoir un effet analgésique grâce aux endorphines. De plus, l'ESNM corps entier pourrait avoir un effet de massage généralisé à tout le corps. Ces résultats ne sont pas confirmés par l'étude présente.

Aucune courbature à 24h n'a été ressentie par les sujets, mais il faut rappeler que les sujets sont jeunes, sportifs, et que l'exercice était court et sous-maximal.

	<p>D'autre part, le temps d'application de l'ESNM affecte la perception post-effort de la douleur : plus il est élevé, moins la douleur l'est.</p> <p>Autres limitations de cette étude : la taille de l'échantillon. Utilisation d'un protocole d'étude intra-sujet avec des mesures répétées : chaque sujet joue le rôle de son propre sujet contrôle. Cette caractéristique rend le protocole très puissant dans l'évaluation des effets des différents traitements. Seuls des hommes ont été recrutés ! L'appareil d'ESNM corps entier utilisé ne disposait pas d'un indicateur d'intensité précis au milliampère et l'intensité était choisie par les participants.</p>
	<p>Conclusion</p> <p>L'ESNM corps entier n'est pas plus efficace sur la clairance des lactates que la récupération active ou passive. L'évolution des autres variables physiologiques va dans le même sens. L'utilisation de l'ESNM corps entier n'améliore pas la récupération de la fatigue neuro-musculaire des membres supérieurs et inférieurs, comparé aux modalités active et passive. De plus, l'ESNM corps entier n'est pas plus efficace sur la perception subjective de la récupération que les deux autres méthodes. Le manque d'études sur l'ESNM corps entier, ainsi que la variété d'appareils, de protocoles de récupération, de paramètres d'électrostimulation utilisés au sein des études précédentes rendent les résultats difficiles à contextualiser, à interpréter et à discuter.</p>

<p>Titre de l'article</p> <p>Govus AD, Andersson EP, Shannon OM, Provis H, Karlsson M, McGawley K. Commercially available compression garments or electrical stimulation do not enhance recovery following a sprint competition in elite cross-country skiers. Eur J Sport Sci.2018;18(10):1299-308.</p>
<p>Auteurs/année/vol/page</p> <p>Govus AD, Andersson EP, Shannon OM, Provis H, Karlsson M, McGawley K /2018/18(10):1299-308.</p>

<p>Lien</p> <p>http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29924696</p>
<p>Niveau de preuve (ANAES)/</p> <p>Grade de recommandation</p> <p>Grade B, preuve 2</p>
<p>Accédé le</p> <p>05/01/2020</p>

<p>Introduction</p>	<p>Objectifs</p> <p>Objectif principal : déterminer si la COMP et l'ESNM accélèrent la récupération des marqueurs biologiques sanguins de lésion musculaire (CK et urée), la hauteur du saut à contrebas (CMJ), et la douleur musculaire perçue, à 8, 20,44, et 68h après une compétition de ski de fond dans un groupe de skieurs de niveau élite, junior et sénior.</p>
	<p>Question de recherche</p> <p>Est-ce que le COMP et l'ESNM ont un effet sur les biomarqueurs sanguins des lésions musculaires (CK, urée), sur la hauteur du saut CMJ, et sur la douleur musculaire.</p>
	<p>Hypothèse de recherche</p> <p>Les vêtements de compression et l'ESNM accéléreraient la récupération des paramètres physiologiques et perceptuels, en comparaison avec le groupe contrôle.</p> <p>COMP améliorerait la récupération par un gradient de pression externe réduisant l'espace disponible pour le gonflement des muscles, et augmente le flux sanguin vers les muscles squelettiques, favorisant la clairance des métabolites.</p>

	<p>ESNM améliorerait le flux sanguin local, améliorant la clairance des métabolites, accélérant hypothétiquement la cinétique de récupération après exercice.</p>
<p>Méthodes</p>	<p>PICO</p> <p><u>Population</u></p> <p>32 hommes volontaires skieurs de fond, membres des équipes nationales suédoises élites junior ou sénior de ski de fond.</p> <p>Randomisation en 3 groupes selon le genre et le niveau d'expérience (senior vs junior) : groupe compression (n=11), groupe ESNM (n=11) et groupe contrôle (n=10).</p> <p><u>Intervention</u></p> <p>Etude randomisée en groupes parallèles, avec mesures répétées. Tous les skieurs réalisent une récupération active immédiatement après la compétition de ski de fond, suivie d'une intervention « vêtement de compression » ou ESNM. Dans le groupe contrôle, pas d'intervention après la récupération active, et interdiction de recourir à une méthode de récupération personnelle par la suite.</p> <p>Une compétition se déroulant dans des conditions conformes aux manches de coupe du monde. La course consistait en un tour de 1570m, pour les hommes comme pour les femmes, avec un prologue contre la montre, suivi de quarts de finale, de demi-finales, et de la finale. Les skieurs devaient s'échauffer et concourir exactement comme lors d'une véritable compétition de ski de fond.</p> <p>4 manches de ski de fond, avec périodes de repos entre les manches, et organisation de la progression dans les séries préliminaires simulant de véritables conditions de coupe du monde.</p> <p><u>Vêtements de compression corps entier</u></p> <p>Les skieurs de ce groupe portaient des COMP de marque Craft Sportswear pour les parties inférieure et supérieure du corps pendant les 17h suivant la récupération active. Les COMP étaient portés à partir de 12h, juste après la compétition, jusqu'à 8h du matin le lendemain. Ils étaient enlevés uniquement durant la session d'entraînement du soir, le jour de la compétition, de 16h à 18h. Deux participants ont enlevé leur COMP durant la nuit, après l'avoir porté pendant 12h à 14h, pour cause de chaleur.</p> <p><u>ESNM</u></p> <p>L'ESNM est appliquée aux muscles de la cuisse en utilisant un appareil de marque Compex Sport, dans les 3-4h après la compétition de ski de fond, en accord avec les instructions du constructeur. Trois électrodes sont placées au</p>

	<p>centre du chef musculaire sur le droit fémoral, le vaste médial, et le vaste latéral. L'appareil est réglé sur le mode « massage de récupération » : un protocole standardisé d'ESNM est appliqué pendant 20 min dont 7 min à 9 Hz, 7 min à 7 Hz, et 6 min à 5 Hz. La fréquence était assez forte pour engendrer des contractions musculaires, mais pas trop forte pas éviter la douleur ou l'inconfort.</p> <p><u>Comparaison</u></p> <p>ESNM vs COMP vs groupe contrôle CON.</p> <p><u>Outcome</u></p> <p>La FC était enregistrée en continu du départ de l'échauffement jusqu'à la fin du retour au calme. Les échantillons de sang des capillaires des doigts étaient collectés dans les 3 minutes après chaque course (CK, urée) et le maximum de concentration en lactates dans le sang était analysé dans les 60 minutes au moyen d'un appareil analyseur.</p> <p>Paramètres mesurés à 8,20,44,68h après la compétition de ski de fond.</p> <ul style="list-style-type: none"> - La douleur musculaire perçue est évaluée au moment de l'arrivée sur le lieu du test indoor par le biais d'une EVA, à la suite d'un accroupissement (squat) complet effectué avec le poids de corps. - La fatigue neuromusculaire des membres inférieurs est évaluée par 2 (CMJ) avec au moins 30 secondes de récupération passive entre les deux. Un détecteur automatique infrarouge mesurait la hauteur du saut.
	<p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Non précisé</p>
	<p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai Contrôlé Randomisé Parallèle</p>
<p>Résultats</p>	<p><u>Mesures de la performance, de la FC, et de lactatémie</u></p> <p><u>Paramètres de récupération</u></p> <p>Pas d'influence du temps sur les paramètres d'urée ou de douleur musculaire perçue, ou sur les CK ou sur les CMJ, que ce soit pour les hommes ou les femmes : les paramètres des différents groupes suivent le même pattern de récupération dans le temps.</p>

Discussion

Contrairement à l'hypothèse envisagée, les traitements COMP et ESNM appliqués à la suite d'une compétition de ski de fond typée sprint n'accélèrent pas la cinématique de la récupération post-compétition comparativement au groupe contrôle. Précisons qu'il existait une nette différence selon le genre dans l'amplitude des réponses post-compétition en termes de CK et de CMJ.

Symptômes.

La sévérité des dommages musculaires relevés ici est moins importante que dans de précédentes études : 70% d'augmentation des CK au-dessus du niveau basal versus 300 à 700% d'augmentation de ces CK chez des individus non entraînés dans une autre étude. Les symptômes sont moins sévères chez des athlètes habitués à un exercice.

Les entraînements habituels des skieurs de fond de l'étude, faits de grands volumes d'exercices aérobies, d'exercices de type fractionné de haute intensité, et d'exercices de renforcement, les prédisposent à avoir moins de lésions musculaires, et moins de passage des CK dans le sang après des compétitions de ski de fond typées sprint.

De plus les skieurs de ski de fond sont moins sujets à ces symptômes dans la mesure où une compétition de ski de fond typée sprint implique moins de contractions excentriques à haut niveau de contraintes mécaniques par rapport à d'autres modalités d'exercices comme la course à pied ou l'haltérophilie, entraînant moins de lésions des myofibrilles.

Dans la pratique, la récupération complète à la suite d'une compétition de ski de fond typée sprint peut ne pas être obtenue dans les 48h, avec pour conséquences physiologiques une baisse de la production de force par les muscles squelettiques, une resynthèse de glycogène perturbée, et une perception de la douleur accrue, ce qui peut perturber par conséquent la performance maximale à l'exercice. Ces constats mettent en lumière un défi important pour les skieurs de fond qui s'engagent habituellement dans de nombreuses courses dans une période de 48 h.

Vêtements de compression

Contrairement à l'hypothèse de recherche, les COMP n'améliorent pas la récupération des marqueurs biologiques, de la fatigue musculaire perçue, et du critère CMJ, face au groupe contrôle. C'est cohérent avec des études qui ont montré que le COMP ne réduit pas le taux sanguin de CK durant la période de récupération, malgré un succès sur la réduction de la douleur musculaire perçue. Une méta-analyse de Hill et al. (2014) concluait que porter le COMP après exercice montrait des effets modérés sur la réduction des niveaux de CK, la courbatures musculaires perçues, et pour restaurer la puissance musculaire, comparativement au groupe contrôle. La pression externe appliquée par l'appareil COMP dans la présente étude peut être insuffisante pour changer l'hémodynamique et faciliter l'élimination des métabolites après exercice. De plus, alors que le COMP est censé augmenter le flux sanguin dans les muscles

des membres et le retour veineux, Sperlich et al (2013) observent que le COMP appliqué à la cuisse engendre au contraire une diminution du flux sanguin au droit fémoral et au biceps fémoral après un exercice cycliste submaximal. Dans une étude de 2014, Sperlich et al. notent que le COMP pour la partie supérieure du corps n'altère pas les paramètres cardiovasculaires tels que le volume d'éjection systolique, le retour veineux, ou l'absorption d'oxygène après 3X3 min de sprint sur un ergomètre. Ces études suggèrent que les COMP disponibles dans le commerce semblent avoir un pouvoir limité pour faire varier le flux sanguin des muscles squelettiques, ce qui expliquerait pourquoi le COMP n'accélère pas la cinématique de récupération après une compétition de ski de fond typée sprint.

ESNM

Les résultats ont montré qu'appliquer l'appareil d'ESNM sur le quadriceps n'accélère pas les cinétiques de récupération en termes de performance, de récupération physiologique et même perceptuelle, en comparaison du groupe contrôle, après de telles compétitions. Ces résultats abondent dans le sens de précédentes études (Maffiuletti, 2010 ; Malone et al.,2014) qui concluent que l'ESNM ne facilite pas la récupération des métabolites comparativement à un groupe contrôle passif. Plusieurs facteurs connus influencent l'efficacité de l'ESNM en tant que modalité de récupération : le placement des électrodes, les différences inter-individuelles entre les seuils de perception de la motricité et de la douleur, et l'anatomie des membres (i.e. la surface de section du muscle et le niveau de tissu adipeux sous-cutané. Babault et al.2011). Par exemple, l'application d'ESNM sur le corps du gastrocnémien pendant les 15-20 minutes suivant un test intermittent Yo-yo a montré une augmentation des niveaux de bicarbonate, une amélioration de la clairance des lactates, et un maintien du pH sanguin plus efficace qu'avec un retour au calme actif (15 min de vélo d'appartement à 40% VO₂max de handballeuses : Beuzien, Borne, Toussaint, Hausswirth, 2014). Cependant, bien qu'un protocole similaire d'ESNM appliqué au gastrocnémien maintenait le niveau de performance dans un test consistant en un effort maximal de 30 secondes sur un rameur, 24h après un effort initial, cela n'était pas plus efficace que la récupération passive dans le maintien de la performance CMJ, ou dans la baisse des niveaux sanguins de CK pendant la récupération post exercice (Bieuzen, Pournot, Hausswirth, 2012).

Des fréquences plus importantes que celles utilisées dans la présente étude peuvent être requises pour augmenter le flux sanguin local et ainsi augmenter l'élimination des métabolites sanguins chez les fondeurs de niveau élite avec une importante masse musculaire.

Forces et limites

Pour préserver la validité écologique de l'étude, aucun contrôlé n'a été fait sur les habitudes diététiques des skieurs. Cependant, du fait de l'importance de l'alimentation sur le processus de récupération (Hausswirth et Le Meur, 2011), tous les athlètes étaient suivis par des nutritionnistes durant l'étude, facilitant l'absorption des macro- et micronutriments. La durée des interventions des groupes ESNM et COMP ne correspondaient pas entre elles pour deux raisons

dans notre étude : appliquer l'ESNM pendant une longue période après l'exercice est potentiellement dangereux, et deuxièmement, en pratique, les athlètes utiliseraient spontanément l'ESNM pour une durée plus courte que le COMP. Ces différences se justifient donc par des considérations pratiques.

La compétition de sprint de la présente étude avait lieu dans le même cadre qu'un camp d'entraînement de pré-saison pour les équipes nationales de ski de fond, ce qui a potentiellement affecté les mesures de récupération de l'étude.

Il y a eu une volonté systématique de réduire tout biais de groupe, en faisant correspondre le nombre d'athlètes juniors et seniors dans chaque groupe d'intervention : CON, ESNM, et COMP, dans la mesure où chaque tranche d'âge suivait un planning différent. Il est possible que le volume d'entraînement plus important suivi par les seniors en phase post-compétition ait ralenti la cinétique de récupération des CK et de la douleur perçue, expliquant que ces valeurs restent plus élevées en pré-compétition chez les seniors que chez les juniors.

Si de trop petits échantillons sont souvent pointés du doigt comme une limite dans les études appliquées au sport, il est cependant irréaliste de recruter plus de 32 athlètes d'équipes nationales dans une étude bien contrôlée, de terrain.

Il serait bon dans des études ultérieures avec des athlètes élites de limiter le nombre d'interventions à deux, afin de préserver la puissance statistique. La petite taille des échantillons pour chaque groupe de récupération (-10-11 skieurs par groupe) et la large variabilité intra et interindividuelle des biomarqueurs sanguins en réponse à la compétition de ski de fond sprint, rendent difficile de conclure à l'efficacité de l'une des interventions sur la cinétique de récupération, en comparaison avec le groupe contrôle. Les études futures doivent s'attacher à étudier les effets de ces modalités avec différentes forces de compression pour le groupe COMP, et avec différentes durées d'application et fréquences de courant pour le groupe ESNM. En plus, les mesures basales et de suivi pourraient inclure une tâche sportive spécifique du ski de fond, pour fournir un indicateur de l'efficacité de la récupération, pertinent dans la pratique.

Réponse à la question annoncée

Aucune facilitation de la récupération, i.e. des paramètres de performance, des paramètres physiologiques, et perceptuels, par l'ESNM et le COMP versus groupe contrôle.

Conclusion

Une compétition de ski de fond sprint induit des symptômes de lésions musculaires comme un taux élevé de CK et d'urée et de douleur musculaire perçue, atteignant leur maximum 8 à 44 h post-compétition. De plus, le critère CMJ a décru après la compétition de ski de fond.

Cependant, ni l'ESNM ni le COMP n'ont accéléré la cinétique des paramètres de performance, des paramètres physiologiques, et perceptuels, comparé au

	CON. Des stratégies individualisées doivent être envisagées dans les futures études.
Forme de l'article	IMRAD Oui
	Niveau de preuve selon HAS Grade B, preuve 2

Titre de l'article	Warren CD, Szymanski DJ, Landers MR. Effects of three Recovery Protocols on Range of Motion, Heart Rate, Rating of Perceived Exertion, and Blood Lactate in Baseball Pitchers During a Simulated Game. J Strength Cond Res. 2015;29(11):3016-25.
Auteurs/année/vol/page	Warren CD, Szymanski DJ, Landers MR. Effects of Three Recovery Protocols on Range of Motion, Heart Rate, Rating of Perceived Exertion, and Blood Lactate in Baseball Pitchers During a Simulated Game/2015/29(11):3016-25

Lien	https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25051002
Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation	Grade B/ preuve 2
Accédé le	25/03/2020

Introduction	Objectifs	Evaluer l'effet de 3 méthodes de récupération –Récupération passive, active- sur les critères d'amplitude des mouvements (ROM), de fréquence cardiaque (HR), échelle de perception de l'effort (RPE) et la lactatémie, chez les lanceurs au baseball, pendant un match simulé, entre les différents lancers, différentes manches, et différents matchs.
	Question de recherche	Quels sont les effets de 3 protocoles de récupération sur le ROM, la FC, l'échelle de perception de l'effort (RPE), et la concentration sanguine en lactates, chez des lanceurs de baseball pendant une simulation de match.
	Hypothèse de recherche	La récupération active, passive, et l'ESNM ont montré chacune leurs avantages respectifs, mais il n'existe pas de preuve de la supériorité d'une des modalités de récupération sur les autres. L'ESNM, par les basses fréquences de son courant, engendre des contractions musculaires sous-maximales, qui augmentent potentiellement la circulation sanguine et le drainage lymphatique.
Méthodes	Population étudiée	PICO Baseball = haute-intensité anaérobie avec faibles temps de récupération. 21 lanceurs de baseball expérimentés et entraînés (8 lanceurs partants et 13 lanceurs remplaçants) de la 1ère division des inter-collèges, âgés de 20,4 ans +/- 1,4 an, de taille 185,9 cm +/- 8,4 cm, de poids 86,5 kg +/- 8,9 kg, de

pourcentage de graisse corporelle 11,2 +/- 2,6. Volontaires pour participer à 3 matchs simulés de 5 manches chacun, avec un maximum de 70 balles rapides lancées par match. Ces volontaires portaient aussi un cardiofréquencemètre. A aucun moment de l'étude, les volontaires sont sous suivi médical pour des motifs qui expliqueraient une impossibilité biomécanique du lancer.

Intervention

Intervention :

-Instructions précises et démonstrations précises vues avant l'étude par les lanceurs.

-les lanceurs sont évalués individuellement à 3 occasions, séparées de 4 jours de repos, au stade de baseball de l'université.

-après chaque manche, un des trois protocoles de récupération est attribué aléatoirement pour éviter la fatigue cumulée (éviter biais de mesure).

-Session de test= 1) 30 min avant le début des lancers (match simulé), absorption de 16 oz d'eau et les sujets restent assis calmement 5 min = niveaux de base de FC et de lactates+ évaluation ROM épaule et coude

2) Echauffement avant-match : jogging de faible intensité de gauche à droite puis échauffement actif haut et bas du corps.

3) Les lanceurs rattrapent des balles pendant 10-15 min (nombre et distances des lancers non relevés)

4) Ils marchent jusqu'à la butte et commencent l'échauffement par des lancers depuis la butte.

Chaque lanceur effectue sa routine complètement avant de lancer au cours du match simulé. Normalement, ce sont 20/30 lancers. Une fois que chaque lanceur estime qu'il est échauffé, il commence le match.

5) Le match consiste en 5 lancers d'échauffement avant chaque manche à une intensité sous-maximale, puis 14 balles rapides par manche à 95% de leur vitesse maximale (du lancer le plus rapide de chaque lanceur) avec 20 secondes de repos après chaque lancer, pour les 5 manches. La FC est notée après chaque lancer. A la fin de chaque manche, les lanceurs donnent une estimation de leur effort perçu (RPE) et boivent 4 oz d'eau.

L'intégralité du match simulé nécessite de chaque joueur 25 lancers d'échauffement, 70 balles rapides, et l'ingestion de 20 oz d'eau.

6 min de repos accordées après chaque manche (temps équivalent aux 14 lancers). Pendant, ces 6 minutes, la récupération est mise en place : immédiatement après le dernier lancer, prise d'un échantillon sanguin sur la

main qui n'a pas servi aux lancers □ détermine une concentration de lactates post-lancers.

Puis protocole de récupération dans ordre aléatoire

Traitement 1 : récupération passive. Le lanceur reste assis sur une chaise pendant 6 min.

Traitement 2 : récupération active. Le lanceur pédale sur un cycloergomètre à bras pendant 6 min tout en étant assis. 2 premières mn à 60W, puis 2 min à 40W, puis 2 min à 20W : protocole pour imiter l'intensité décroissante du protocole ESNM.

Traitement 3 : ESNM 6 min d'ESNM en étant assis.

Appareil Compex Sport, sur le mode « récupération active », qui stimule les motoneurons efférents, courant biphasique rectangulaire symétrique, de 250 µs de largeur d'impulsion, de fréquence débutant à 9 Hz et décroissant toutes les 2 min d'un Hz. Les électrodes sont placées sur le corps musculaire des fléchisseurs et extenseurs de l'avant-bras (biceps et triceps brachial, deltoïde antérieur et postérieur, et portions antérieure et postérieure du trapèze supérieur). Muscles sélectionnées en fonction de leur importance dans le mouvement du lancer. Un échantillon sanguin au doigt permettait d'obtenir la lactatémie post-récupération à l'issue des 6 min. La FC était prélevée toutes les 30 secondes pendant la récupération, et le RPE était demandé au joueur à la fin de chaque manche pour déterminer l'effort relatif des différentes méthodes de récupération. Pendant les 20 secondes entre chaque lancer, prise de la FC et toutes les 30 secondes durant les 6 min de récupération.

Comparaison : groupe récupération active, récupération passive, ESNM.

Outcome :

Rpe : Echelle Rating of Perceived Exertion (RPE) de Borg de 0 à 10

Rom : un unique évaluateur mesure TOUTES les amplitudes passives en RL, RM, F, E, avec un goniomètre standard, pendant qu'un assistant place le bras du sujet dans la position voulue. Toutes les mesures sont prises bilatéralement 3 fois, et la moyenne des 3 essais est retenue. Mesures prises avant tout échauffement, exercice, puis après les lancers, puis 24h après les lancers par les 2 mêmes examinateurs.

Lactates : Un prélèvement de sang sur le bout du doigt du côté latéral, à mi-chemin entre la tablette unguéale et la partie inférieure de la phalange distale de la main « non lanceuse ».

Préférence des participants sur la modalité de récupération ; Après tous les tests, il est demandé aux participants de classer les modalités de récupération par ordre de préférence : celle qui leur a donné les sensations de meilleure

		récupération reçoit le rang 1.
	Critères d'inclusion/exclusion	Ils ont réussi un examen physique effectué par les médecins de l'équipe.
	Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...) Essai Croisé Contrôlé Randomisé.	
Résultats	(Cohérence avec résultats, présentations)	<p>Amplitude de mouvement : les méthodes de récupération n'ont pas influencé l'amplitude dans aucun plan bien qu'il y ait eu une légère augmentation transitoire de l'amplitude de rotation latérale quelle que soit la méthode de récupération.</p> <p>FC : la FC décroît pour toutes les modalités, mais aucun effet de l'ESNM sur ce critère.</p> <p>RPE : Différence significative de l'évolution du RPE dans le temps pour les 3 modalités : déclin significatif pour la récupération passive et l'ESNM, mais pas pour la récupération active.</p> <p>Lactatémie : décroît significativement du fait de l'ESNM.</p> <p>Classement par athlètes : l'ESNM est la méthode préférée de 18 athlètes sur 21.</p>

	Discuter critères de jugement et biais	L'utilisation de l'ESNM a permis une significative clairance des lactates chez les lanceurs, suggérant une récupération biologique efficace. C'est à l'ESNM que les lanceurs ont attribué le meilleur RPE, et c'est l'ESNM qu'ils ont classée en 1 ^{er} .
	Réponse à la question annoncée	L'utilisation de l'ESNM a permis une significative clairance des lactates chez les lanceurs, suggérant une récupération biologique efficace. C'est à l'ESNM que les lanceurs ont attribué le meilleur RPE, et c'est l'ESNM qu'ils ont classée en 1 ^{er} .
	Conclusion	L'ESNM pourrait améliorer la performance de lancer en aidant à la récupération. Cela pourrait potentiellement réduire certaines blessures associées à la fatigue des muscles squelettiques pendant le lancer, et pourrait permettre plus de

		lancers par match, ou réduire le nombre de jours entre deux matchs.
Forme de l'article	IMRAD	Oui
	Niveau de preuve selon HAS	Grade B, niveau 2.

<p>Lien</p> <p>https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4033060/</p>
<p>Niveau de preuve (ANAES)/Grade de recommandation</p> <p>Essai Contrôlé Randomisé</p>
<p>Accédé le</p> <p>25/03/2020</p>

<p>Introduction</p>	<p>Objectifs</p> <p>Déterminer les effets de 3 modalités de récupération (ESNM, massage, repos passif) après un exercice épuisant sur la concentration sanguine en lactates, sur la fréquence cardiaque, l'évaluation de l'effort perçu (RPE), le score « qualité totale de récupération » (TQR) et la puissance suivant l'exercice au cours d'un Wingate Test.</p>
	<p>Question de recherche</p> <p>L'ESNM et le massage améliorent-ils la récupération -versus modalité passive- et donc la performance de l'effort de haute intensité qui suit ?</p>
	<p>Hypothèse de recherche</p> <p>L'ESNM et le massage permettraient une meilleure récupération que la récupération passive, ce qui améliorerait l'exercice de haute intensité suivant.</p>
	<p><u>PICO</u></p> <p>Participants : 12 étudiants volontaires masculins, pratiquant régulièrement le football et le basketball, ou tout sport impliquant des séquences de haute intensité. Age de 20.92 +/- 2.47 ans ; masse de 68.42 kg +/- 7.25 kg ; taille de 174.25 cm +/- 6.11 cm ; VO2max : 50.67 ml/kg/min +/- 4.37.</p> <p>Intervention :</p> <p>Adaptation d'un protocole expérimental de 2004 par Robertson portant sur les effets du massage sur les MI chez le cycliste.</p> <ul style="list-style-type: none"> - dans un laboratoire, 5 séances distinctes, à 48h d'intervalle au moins, à la même heure du jour à chaque fois. - Lors des 2 premières séances : protocole de familiarisation et obtention des paramètres de performance basaux (Wingate Test de début donne la puissance maximale (peak power ou Pp lors des 5 premières secondes du test, et la puissance moyenne : mean power ou Pm). - Les 3 séances suivantes : chaque sujet est soumis aux 3 protocoles de

récupération dans un ordre randomisé compensé : a) massage, b) ESNM, c) repos passif.

- Les prises alimentaires, les intensités des exercices physiques, leur durée, sont enregistrées sur les deux jours précédant la familiarisation. Chaque sujet reprend ces habitudes enregistrées à chaque période de 48h précédant la séance.
- Pas de sport intensif pendant les 24h avant la séance et pas de nourriture 2h avant les tests.
- **Séance type** : 10 min assis, puis prélèvement d'un échantillon sanguin pour lactates + échauffement standardisé léger de 5 min et 3 min d'étirements statiques des IJ, du triceps sural, et des quadriceps)+ réalisation du cœur de la séance i.e. 6 blocs standardisés de 30 secondes de haute intensité sur cyclo-ergomètre (à 85% de la charge WGb, et 60 tr/min) et 30 secondes entre deux blocs consécutifs de récupération active (pas de charge, 60 tr/min). La puissance produite par le sujet est monitorée pendant les 6 blocs de 30 secondes à haute intensité par un logiciel+ récupération par une des 3 méthodes, le tout durant 24 min + 5 min de retour au calme selon le même protocole que pour l'échauffement et 3 min d'étirements statiques + les sujets essaient de produire la puissance maximale dans le Wingate Test final (WGf).
- La FC est enregistrée sur cardiofréquencemètre Polar RS800 et la perception de l'effort se fait sur l'échelle de Borg de 6 (pas d'effort du tout) à 20 points (effort maximal) et qualité de la récupération effectuée par l'échelle TQR allant de 6 à 20 points également.
- Mesures de lactatémie au repos puis 5 min après les six blocs à haute intensité puis à la fin de la récupération puis après le WGf.
- **Massage** : 24 min, deux masseurs certifiés, simultanément sur les 2 jambes, d'abord sur en décubitus ventral pendant 12 min puis en dorsal pendant 12 min (même procédure). Les manœuvres étaient pour la plupart de grade 1 ou 2, mais trois manœuvres de grade 3, poing fermé, appliquées dans une direction centripète vers le centre de la bandelette ilio-tibiale droite et gauche pendant le massage en dorsal. Une huile minérale blanche est utilisée à hauteur de 10 ml par zone, 4 zones.
- **ESNM**
En dorsal, ESNM des 2 quadriceps et IJ. appareils Compex MI-sport de 4 canaux, électrodes bipolaires. Pour le QC, une cathode (électrode rectangulaire) sur la partie haute de la cuisse et deux anodes sur le VL et le VM (points moteurs). Pour les IJ, la cathode était positionnée près du pli sous-fessier, et l'anode sur le ventre musculaire des IJ. Fréquence de stimulation démarre à 9 Hz pour décroître pendant toute la récupération (24 min) jusqu'à 1 Hz (400 µs de largeur d'impulsion, montée de 1,5 s et descente de 0,5 s). Les sujets règlent l'intensité la plus confortable (10-20 mA)
- **Repos passif**
Passivement en décubitus dorsal.

	<p><u>Comparaison</u></p> <p>Massage vs ESNM vs repos.</p> <p><u>Outcome</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - La FC est enregistrée sur cardiofréquence-mètre Polar RS800 et la perception de l'effort se fait sur l'échelle de Borg de 6 (pas d'effort du tout) à 20 points (effort maximal) et qualité de la récupération effectuée par l'échelle TQR allant de 6 à 20 points également. - Mesures de lactatémie au repos puis 5 min après les six blocs à haute intensité puis à la fin de la récupération (24min) puis après le WGf - Puissance réalisée pendant le WGb, le WGf, et pendant les 6 blocs de haute intensité. - Qualité de la récupération effectuée par l'échelle TQR allant de 6 à 20 points également. - RPE après chaque série de 6 blocs. 	
<p>Méthodes</p>	<p>Population étudiée (sélection)</p>	<p>12 joueurs volontaires masculins, pratiquant régulièrement le football et le basketball, ou tout sport impliquant des séquences de haute intensité. Age de 20.92 +/- 2.47 ans ; masse de 68.42 kg +/- 7.25 kg ; taille de 174.25 cm +/- 6.11 cm ; VO2max : 50.67 ml/kg/min +/- 4.37.</p>
	<p><u>Critères d'exclusion</u> : avoir été traité par ESNM dans les 6 mois précédents, et présenter des contre-indications médicales relatives à l'ESNM (problèmes de dos, dysfonctionnements du rythme cardiaque, opérations chirurgicales récentes)</p>	
	<p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai contrôlé randomisé comparatif, analyse quantitative.</p>	
	<p>Discussion : choix des groupes, articles (aveugle ? double aveugle ?)</p> <p>-</p>	
<p>Résultats</p>	<p>-Pas de différence significative entre les 3 méthodes sur la puissance réalisée durant les exercices de haute intensité (p=0.51).</p> <p>- Puissances moyenne du Wingate Test final supérieures aux valeurs du WG test initial pour les 3 modalités (p<0.001).</p> <p>-Pas de différence significative de Pm pendant le WGf entre les 3 modalités</p>	

	<p>($p > 0.05$).</p> <p>-Pour la puissance max, pas de différence entre les 3 modalités au WGb et au WGf ($p = 0.432$).</p> <p>-La VO_{2max} n'a aucun effet sur Pm ($p = 0.199$) ou sur Pp ($p = 0.717$).</p> <p>Lactatémie : aucune interaction significative entre le type de récupération et les mesures aux différents temps (repos, 5 min après les six blocs, après les 24min de récupération ($p = 0.493$)).</p> <p>Les concentrations en lactates étaient négativement corrélées à la VO_{2max} après les exercices de haute intensité ($p = 0.001$) et après la récupération ($p = 0.011$), mais pas durant le repos ou après le WGf ($p > 0.05$).</p> <p>FC : pas d'interaction significative entre le type de récupération et les valeurs prises aux quatre temps ($p = 0.817$).</p> <p>RPE/TQR : pas d'interaction significative entre le type de récupération et le TQR ($p = 0.069$) et pas non plus pour le RPE ($p = 0.915$)</p>
--	---

<p>Discussion</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Absence d'effet observé sur la clairance du lactate par le massage ou l'ESNM par rapport au mode passif dans notre étude implique qu'il n'y a pas eu de changements dans le flux sanguin musculaire et/ou la clairance des lactates par l'une ou l'autre des modalités de récupération - Protocole et alimentation identique entre les 3 interventions pour limiter les biais. - Flux sanguin non étudié - Massage et ESNM pourraient devenir contre-productifs en augmentant le flux sanguin de la peau sans augmentation du flux sanguin artériel, et donc potentiellement détourner le flux sanguin du muscle en cours de récupération. ESNM pourrait augmenter le flux artériel mais lié aux paramètres utilisés et aux différentes méthodes d'évaluation du flux sanguin - ESNM n'a pas permis une récupération, notamment perceptuelle, et aucune différence sur la performance maximale dans le test de Wingate - Score TQR plus élevé après l'intervention de massage, effet psychologique (retrouvé dans la littérature) mais non significatif ici. - Validité de l'échelle TQR pour le suivi de la récupération perçue après un exercice de haute intensité doit être étudié plus avant.
--------------------------	--

	<p>Réponse à la question annoncée</p> <p>L'ESNM et le massage ne sont pas plus efficaces que la récupération passive dans la facilitation de la récupération après un effort intense.</p>
	<p>Conclusion</p> <p>L'ESNM et le massage ne sont pas plus efficaces que la récupération passive dans la facilitation de la récupération après un effort intense.</p>
Forme de l'article	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p>
	<p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade A, Niveau 1</p>

Titre de l'article

Argus CK, Driller MW, Ebert TR, Martin DT, Halson SL. The effects of 4 different recovery strategies on repeat sprint-cycling performance. Int J Sports Physiol Perform. sept 2013;8(5):542-8.

Auteurs/année/vol/page

Argus CK, Driller MW, Ebert TR, Martin DT, Halson SL/2013/8(5):542-8.

Lien

<https://journals.humankinetics.com/view/journals/ijsp/8/5/article-p542.xml>

Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation

Niveau 1/ Grade A.

Accédé le

25/01/2020

Introduction	Objectifs
	Evaluer l'efficacité de différentes modalités de récupération versus groupe passif sur une performance répétée de sprints à vélo, avec une courte durée entre deux sprints consécutifs.
	Question de recherche
	Quelle est l'efficacité de 4 méthodes de récupération sur une performance cycliste de sprints quasi- consécutifs ? (<30 min)
	Hypothèse de recherche
	<ul style="list-style-type: none"> - Les vêtements de compression amélioreraient le retour veineux par l'application d'une compression d'intensité graduelle aux membres, du proximal au distal. Ils élimineraient les déchets métaboliques qui s'accumulent pendant l'exercice et, par conséquent, amélioreraient la récupération tout en réduisant l'espace intramusculaire disponible pour le gonflement. Ils atténueraient aussi la réponse inflammatoire et réduiraient la douleur musculaire - ESNM permettrait une meilleure récupération sur la performance au sprint. - L'humidification améliorerait la récupération par l'amélioration de l'efficacité des muscles respiratoires via l'inversion de l'hyperinflation dynamique et aiderait au rétablissement psychologique grâce à sa sensation apaisante

PICO

Participants : 11 cyclistes très entraînés (âge : 31 +/- 6 ans, masse : 74,6 +/- 10,6 kg ; taille : 180,5 +/- 8,1 cm) volontaires. Tests faits pendant la saison des compétitions, niveaux des cyclistes A- ou B- dans leurs états respectifs.

Intervention

- 5 tests distincts au laboratoire, sur 3 semaines.
- minimisation de l'effet d'apprentissage par familiarisation. Puis, les sujets effectuent 4 essais distincts séparés d'au moins 48h sous 14 jours au plus. La seule différence dans le protocole des essais est la modalité de récupération employée entre les sprints : vêtements de compression (COMP), ESNM, ou contrôle passif (CON).
- contrôle des variables diététiques grâce à la réplication pour les essais suivants, de l'alimentation des 24h précédant le premier essai.
- contrôle des entraînements qui doivent rester les mêmes 48h avant les tests, mais interdiction des efforts intenses moins de 24h avant, et interdiction de la caféine 12h avant.
- les sujets doivent arriver reposés, hydratés
- tests fait à la même heure du jour +/- 1h, sur le même cyclo-ergomètre, calibré avant l'étude par des techniciens de l'Institut, la fiabilité de l'appareil ayant été mesurée.

Protocole de l'essai : X5

- 3 sprints à vélo d'intensité maximale, espacés de 30 min de récupération dont 1 minute d'installation et de retrait de l'appareil de récupération ou du bas de contention, un retour au calme de 3 min, une récupération de 20 min, et un échauffement pour le sprint suivant.
- Les 3 sprints consistent en un échauffement incrémental de 3 min qui inclut 2 sprints de 3 secondes et du pédalage sans résistance.
- puis le de 30 secondes lui-même alors que le cycliste pédale déjà depuis 60 secondes à 4,5 W/kg de puissance rapportée au poids. Pendant les 30 secondes du sprint, le cycliste ne voit que le décompte du temps et invités à fournir le plus grand effort possible.
- le braquet et la cadence de pédalage étaient choisis par les cyclistes pendant la familiarisation puis ces paramètres étaient réutilisés pendant les 60 secondes de mise en jambe, et durant le sprint de 30 secondes lui-même.
- l'ordinateur du cyclo-ergomètre enregistre la moyenne de la puissance durant les 30 secondes de sprint
- immédiatement après le sprint : retour au calme standardisé de 3 min à 2.0 W/kg.
- Après ce premier sprint S1, récupération de 20 minutes, avec mise en place d'une des quatre modalités.
- Pendant la récupération : sujet assis en position semi-inclinée dans une salle à 20,7°C +/- 0,3°C.
- Après les 20 min de récupération post S1, échauffement raccourci avant S2, avant une nouvelle période de récupération de 20 min, puis S3 enfin.

	<ul style="list-style-type: none"> - Le protocole a été conçu pour que l'effort à celui produit lors d'événements de cyclisme sur piste : période d'échauffement avant un sprint maximal, répété sur plusieurs manches avec de courtes périodes de récupération. C'est le protocole de cyclistes australiens ayant participé aux JO de Londres2012. - pour chacun des 5 essais expérimentaux, on comptait 3 sprints entrecoupés de 2 séquences de récupération. <p>Les 4 types d'interventions sont les bas de compression (manchons sur les jambes, de la malléole médiale au pli inguinal, gradients de pression évalués en laboratoire, 27 mmHg en bas du triceps sural, et 18 en haut de la cuisse), l'ESNM (appareil de marque Bodyflow, Australie) avec 4 électrodes sur le VL/VM (10min/10min), fréquence réglée au plus bas niveau provoquant une contraction musculaire (15,7 +/- 2,8 Hz) ; l'humidification : le sujet reçoit de l'air chaud humidifié à 45L/min et 100% d'humidité relative par une canule nasale (humidificateur Airvo, Fisher & Payckel, Nouvelle-Zélande) ; le groupe contrôle : sujets assis dans une pièce à la T°C contrôlée sans intervention.</p> <p><u>Comparaison</u></p> <p>ESNM vs humidification vs vêtement de compression vs groupe contrôle.</p> <p><u>Outcome</u></p> <p>Puissance : lors des 3 sprints S1, S2, S3.</p> <p>Lactatémie : à l'issue de l'échauffement 1, à t0 de la période de récupération, t10min de la récupération, t20min de la récupération (pour les 2 périodes de récupération, post S1 et post S2)</p> <p>TQR : mêmes points de mesure que pour la lactatémie (0/10/20 du post-S1 et post-S2).</p> <p>Préférence des cyclistes : classement par chaque cycliste de 1 à 4 des modalités de récupération, après la session de familiarisation. (seuls 8 des 11 participants ont rempli ce questionnaire)</p>
<p>Méthodes</p>	<p>Population étudiée (sélection)</p> <p>Participants : 11 cyclistes très entraînés (âge : 31 +/- 6 ans, masse : 74,6 +/- 10,6 kg ; taille : 180,5 +/- 8,1 cm) volontaires. Tests faits pendant la saison des compétitions, niveaux des cyclistes A- ou B- dans leurs états respectifs. Etude approuvée par comité éthique de recherche de l'Australian Institute of Sport.</p> <p>Critères d'inclusion/exclusion -</p> <p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai contrôlé randomisé comparatif</p>

Résultats	<p>Puissance : la variation moyenne de la puissance du groupe CON entre S1 et S2 (-2,1%) et entre S1 et S3 (-3,1%) sert de valeur de référence pour comparer l'efficacité des interventions de récupération. La compression permet une meilleure récupération S1-S2 que le CON, et une meilleure récupération S1-S3 que CON. la compression et l'humidification montrent une récupération encore meilleure entre S1 et S3.</p> <p>Lactates : pas de différence significative entre les groupes avant S1. En période de récupération 2, il y a eu une réduction de la lactatémie pour la modalité humidification et ESNM versus groupe contrôle.</p> <p>TQR : seule une comparaison du TQR (ESNM vs CONT) pendant la 2^{ème} récupération a suggéré qu'il existait une meilleure récupération perçue dans le groupe ESNM que dans le groupe CONT.</p> <p>Seuls 2 sujets sur les 8 qui ont rempli le classement de leur méthode préférée de récupération ont prédit correctement quelle stratégie de récupération allait optimiser leur performance (de S1 à S3).</p>

Discussion	<ul style="list-style-type: none"> - Utilisation de vêtements de compression et d'un traitement par d'humidification améliorent la récupération lorsqu'il n'y a qu'un court délai entre les séances de cyclisme à haute intensité. - Sujets étaient informés de l'intervention à laquelle ils participaient avant le premier essai ; cependant, comme seulement 2 (sur 8) sujets ont classé l'ESNM comme leur meilleure intervention de rétablissement, il est peu probable que cela soit dû à un effet placebo. - L'ESNM est proposée pour améliorer la clairance du lactate par le biais de contractions musculaires invoquées augmentant le flux sanguin dans toute la musculature. - L'ESNM n'a pas amélioré la récupération entre les séances, même si la clairance du lactate a été améliorée et si des avantages ont été perçus en termes de récupération. - Ouverture : il est peu probable qu'une courte séance d'ESNM améliore la récupération et les performances ultérieures. Il se peut qu'une durée plus longue de l'ESNM soit nécessaire pour favoriser la récupération. - absence de placebo pour chacune des 3 interventions de récupération (COMP, HUM, et EMS) dans l'étude actuelle
-------------------	---

	<p>Réponse à la question annoncée</p> <p>La compression et le traitement par humidification sont des stratégies efficaces pour améliorer la récupération entre des efforts avec une durée de récupération inférieure à 30 min.</p>
	<p>Conclusion</p> <p>L'ESNM et le massage ne sont pas plus efficaces que la récupération passive dans la facilitation de la récupération après un effort intense.</p>
Forme de l'article	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p> <p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade A, Niveau 1</p>

<p>Titre de l'article</p> <p>Finberg M, Braham R, Goodman C, Gregory P, Peeling P. Effects of Electrostimulation Therapy on Recovery From Acute Team-Sport Activity. International Journal of Sports Physiology & Performance. 2013;8(3):293-9.</p>
<p>Auteurs/année/vol/page</p> <p>Finberg M, Braham R, Goodman C, Gregory P, Peeling P/2013/8(3):293-9.</p>

<p>Lien</p> <p>https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23006673</p>
<p>Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation</p> <p>Grade B, Niveau 2.</p>
<p>Accédé le</p> <p>15/01/2020</p>

<p>Introduction</p>	<p>Objectifs</p> <p>Evaluer les effets d'une modalité d'ESNM « on-off » sur la réponse inflammatoire post-exercice, et la performance sportive du lendemain. Comparer les résultats avec le groupe CWT, et le groupe CON.</p>
	<p>Question de recherche</p> <p>Quels sont les effets de l'ESNM « on-off », et d'un traitement par eaux contrastées, sur la réponse inflammatoire post-exercice et sur la performance du lendemain, comparativement à un groupe contrôle ?</p>
	<p>Hypothèse de recherche</p> <p>Des résultats équivoques existent sur l'efficacité de l'eau contrastée, i.e. de potentiels bénéfiques existent quant à la réduction de l'inflammation, de la douleur, de la raideur musculaire, de la perception des courbatures au cours des 24h post-exercice. De même, l'application d'ESNM durant 25 min (5 Hz) sur les ischio-jambiers a suggéré une hyperperfusion des muscles squelettiques, générant une baisse de la réponse inflammatoire, mesurée par une réduction de la créatine-kinase. L'exposition à une ESNM de très faible fréquence (1-2 Hz) censée stimuler la contraction des petits muscles des veines, canaux lymphatiques, et des artères, bien qu'ayant montré des résultats encourageants, est de trop longue durée (20 min puis 1X/j pendant 7 jours) pour être appliquée</p>

en pratique. Il faut privilégier une application d'ESNM « traditionnel » en une fois.

PICO

Participants

10 hommes moyennement entraînés, recrutés dans un club de football local, et des clubs professionnels de la Ligue de Football Australienne. Âge 20 +/- 3 ans, taille 180,1 +/- 10,1 cm, poids 81,4 +/- 10,3 kg.

Intervention

- 4 sessions de test distinctes en labo, sur une période de 4 semaines.
- Session 1 : minimisation de l'effet d'apprentissage par séance de familiarisation.
- Sessions 2, 3, 4 : chaque session prend 2 jours, les exercices étant réalisés sur un anneau extérieur d'athlétisme. Jour 1 : arrivée au laboratoire à 9h, prélèvement d'un échantillon sanguin pré-exercice, 10min d'échauffement standardisé (6 tours de simulated team-game circuit), 10 min de repos, puis exercices de STGC : 6 séquences de 15 min chacune, espacées de 5 minutes de récupération. Le STGC doit reproduire les efforts intermittents et la gestuelle habituellement observés pendant les sports d'équipe. Chaque bloc de 15 min implique la réalisation de 15 tours de 1min, avec **la réalisation d'un sprint maximal de 20m (indicateur de performance du test) au début de chaque tour de 1 min.**
- **A la moitié, et à la fin de chaque période de repos de 5 min**, les participants boivent 100 mL d'eau et **les enregistrements des fréquences cardiaques moyennes et des estimations de l'effort perçu (RPE) sont relevés.**
- **A la fin du STGC, les participants sont amenés à utiliser 1 des 3 modalités de récupération.**
 - 1) **ESNM** : session unique de 30 min sur appareil Bodyflow avec 4 ventouses thermiques sur le groupe adducteurs et le GC médial, de chaque jambe. Courant léger de 1-2 Hz, 11 mA : induction d'une contraction musculaire par une intensité **fixe** pour éviter un biais de confusion.
 - 2) **Thérapie par eaux contrastées** : sujets immergés jusqu'à la taille, debout dans le bassin, alternant 2 min d'eau à 12°C +/- 1, et 2 min d'eau à 30°C +/-1. Six répétitions sur une période de 30 min, avec 30 secondes de transfert entre les bains. Seule la partie inférieure du corps était immergée, car seuls les membres inférieurs recevaient l'ESNM.
 - 3) **Groupe contrôle** : sujets assis 30 min au repos au laboratoire.

-Après les 30 min de récupération, les patients devaient rester 3h au laboratoire,

	<p>assis, au repos.</p> <p>- Après ces 3h, un échantillon sanguin était pris à l'avant-bras, avant que les sujets ne quittent le laboratoire avec comme consigne de ne pas utiliser immédiatement d'autre méthode de récupération.</p> <p>-le monitoring des apports nutritionnels s'est fait grâce des relevés des prises alimentaires solides et liquides dans les 24h suivant chaque essai expérimental. Les mêmes habitudes alimentaires devaient ensuite être suivies à chaque session.</p> <p>-24h après, les athlètes retournent au laboratoire pour suivre un protocole de suivi : prélèvement sanguin à l'avant bras, avant de reprendre l'échauffement de 10 min déjà mentionné, puis 3 blocs de 15 min de STGC. Pendant cette évaluation de suivi, le sprint de 20 mètres initial de chaque début de tour d'une minute constitue l'indicateur de performance.</p> <p>Environnement : avant le début de chaque essai, la température et l'hygrométrie relative étaient enregistrées par un thermomètre digital et par un moniteur d'humidité.</p> <p><u>Comparaison</u></p> <p>ESNM de très basse fréquence 1-2 Hz vs eaux contrastées vs groupe contrôle.</p> <p><u>Outcome</u></p> <p><u>IL6 de haute sensibilité</u> : marqueurs de l'inflammation (échantillon sanguin pré-exercice et 3h post-exercice)</p> <p><u>CRP de haute sensibilité</u> : les protéines C-réactives ont été dosées grâce aux prélèvements de sang veineux pré-exercice et 24h post-exercice.</p> <p><u>Fréquence cardiaque et RPE</u> : estimés à leur niveau basal (pré-exercice), à la moitié de l'exercice, et à la fin du STGC par un cardiofréquencemètre Polar 625X et par l'échelle perceptuelle de Borg (de 6 : pas d'effort du tout à 20 : effort maximal)</p> <p><u>Questionnaire de perception de la récupération TQR</u> : à la fin de chaque intervention de récupération, il était demandé aux participants de noter leur récupération perçue en utilisant le Total Quality Recovery Perceived scale – TQR, avec l'échelle allant de 6 (très très faible récupération) à 20 (très très bonne récupération).</p> <p><u>Durée du sprint maximal</u> : la durée du sprint de 20 mètres à chaque minute/tour de circuit. La somme des durées des 15 sprints de 20 mètres à chaque session de STGC est l'indicateur clef de performance de cette étude.</p>
Méthodes	<p>Population étudiée (sélection)</p> <p>10 hommes moyennement entraînés, recrutés d'un club de football local, et des clubs professionnels de la Ligue de Football Australienne. Âge 20 +/- 3 ans, taille 180,1 +/- 10,1 cm, poids 81,4 +/- 10,3 kg. Information sur les risques et</p>

	<p>consentement écrit recueilli, approbation par comité éthique sur la recherche humaine de l'université d'Australie de l'Ouest.</p> <p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Non précisés dans l'étude</p> <p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai contrôlé randomisé avec analyse statistique quantitative.</p> <p>Discussion : choix des groupes, articles (aveugle ? double aveugle ?)</p> <p>-</p>
<p>Résultats</p>	<p><u>STGC (critère de performance)</u></p> <p>Aucune différence dans la somme des temps aux sprints de 20m entre l'ESNM, la CWT, et le groupe contrôle ($p > 0.05$). Le facteur temps a eu un effet significatif ($p < 0.05$) pour les durées de sprint enregistrées pour toutes les modalités. Au fur et à mesure de l'avancée des 6 sets de 15 tours de STGC dans le temps, la somme des 15 sprints de 20 mètres a augmenté : le temps de réalisation du STGC est devenu significativement plus lent.</p> <p><u>Performance à 24h post-récupération</u></p> <p><i>Différence significative entre l'ESNM et le groupe contrôle ($p = 0.004$) montrant des temps au sprint plus rapides dans le groupe ESNM.</i></p> <p>Pas de différence significative cependant entre le traitement par eaux contrastées et le groupe contrôle ($p = 0.058$), et entre le CWT et le groupe contrôle ($p = 0.196$). Un effet modéré pouvait néanmoins suggérer une tendance à accomplir des sprints plus rapides à la session à 24h post-récupération avec la modalité CWT qu'avec le groupe contrôle.</p> <p>Aucune différence dans l'essai pour la fréquence cardiaque ($p > 0.05$) ou le RPE ($p > 0.05$) entre les 3 modalités.</p> <p><u>Total Quality Recovery</u></p> <p>L'évaluation par les sportifs de la récupération perceptuelle <i>avant</i> la performance à 24h post-récupération a montré des différences significatives entre les modalités : <i>la récupération perceptuelle 24h après l'ESNM est significativement meilleure qu'après la CWT ou le groupe contrôle ($p < 0.05$)</i>. La CWT a un effet significativement plus grand sur la récupération de l'athlète que le groupe contrôle ($p < 0.05$).</p> <p><u>IL-6</u></p> <p>Aucun effet significatif du type de récupération ($p = 0.349$) sur les niveaux circulants d'IL-6. <i>Augmentation significative du niveau d'IL-6 à 3h post</i></p>

	<p><i>exercice. Les variations relatives des niveaux d'IL-6 par rapport aux niveaux de base ne sont pas significativement différentes entre les 3 conditions.</i></p> <p><u>CRP</u></p> <p>Un effet temporel significatif existe pour chaque modalité : à 24h post-exercice, les niveaux de CRP sont sensiblement plus élevés que ceux enregistrés pré-exercice (ESNM p=0.006, CWT p<0.05, CON p=0.009)</p>
<p>Discussion</p>	<ul style="list-style-type: none"> - les mécanismes physiologiques de récupération bénéfiques que l'ESNM peut apporter doivent encore être étudiés - Intensité faible de l'ESNM : responsable de la non influence sur la réponse inflammatoire ? - Une meilleure perception de la récupération (améliore le bien-être = amélioration des performances) pourrait expliquer les performances améliorées des sprinters à 24h - ouverture : un certain nombre de mécanismes potentiellement susceptibles d'avoir amélioré la récupération de nos athlètes (tels qu'une réduction de l'œdème, une diminution des réponses subjectives à la douleur ou une augmentation de l'amplitude de mouvement) n'ont pas été mesurés et, par conséquent, il se peut que ces marqueurs de récupération puissent fournir un aperçu plus précis des effets physiologiques bénéfiques de l'ESNM et de la CWT sur l'amélioration des performances athlétiques ultérieures.
	<p>Réponse à la question annoncée</p> <p>Les protocoles d'ESNM et de CWT ont eu un impact limité sur la réponse inflammatoire et sur les lésions musculaires (niveau d'immersion pour la CWT, et durée, fréquence, amplitude du courant pour l'ESNM).</p> <p>Conclusion</p> <p>Le critère de performance à 24h post-récupération est en faveur de l'ESNM, et de la CWT tendancielle.</p> <p>Les protocoles d'ESNM et de CWT ont eu un impact limité sur la réponse inflammatoire et sur les lésions musculaires (niveau d'immersion pour la CWT, et durée, fréquence, amplitude du courant pour l'ESNM).</p>
<p>Forme de l'article</p>	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p> <p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade B, Niveau 2.</p>

Titre de l'article

Bieuzen F, Borne R, Toussaint J-F, Hausswirth C. Positive effect of specific low-frequency electrical stimulation during short-term recovery on subsequent high-intensity exercise. Appl Physiol Nutr Metab. 2014;39(2):202-10.

Auteurs/année/vol/page

Bieuzen F, Borne R, Toussaint J-F, Hausswirth C /2014/39(2):202-10.

Lien

<http://www.nrcresearchpress.com/doi/10.1139/apnm-2013-0185>

Niveau de preuve (ANAES)/Grade de recommandation

Grade B, Niveau 2.

Accédé le

24/10/2019

Introduction	Objectifs L'objectif de cette étude est de tester l'effet de la stimulation électrique basse fréquence Veinoplus (sur le mollet) sur certains marqueurs de la récupération en comparaison avec deux autres méthodes de récupération classique (active et passive) dans le cadre d'une récupération à court terme (15 min) entre deux efforts courts (<4 min)
	Question de recherche Quels est l'effet de la stimulation électrique basse fréquence Veinoplus sur certains marqueurs de la récupération en comparaison avec deux autres méthodes de récupération classique (active et passive) ?
	Hypothèse de recherche La récupération par ESNM basse fréquence limiterait la baisse de performance entre deux sessions d'exercice, comparativement à la récupération active et passive. Les concentrations en lactates, les pH, les concentrations en bicarbonates retourneraient à leur valeur basale plus rapidement après ESNM basse fréquence et récupération active, qu'après récupération passive.
	<u>PICO</u>

Participants

14 handballeuses très entraînées (24,7 +/- 3,8 ans ; taille de 173,3 +/- 5,2 cm ; poids de 68,4 +/- 8,2 kg), volontaires pour cette étude, hors saison. Les athlètes prenaient part à des compétitions nationales et internationales.

Intervention

-tester les effets de 3 modalités de récupération sur un test de performance en course à pied et sur les produits métaboliques de l'effort, pendant 15 min de récupération entre 2 efforts épuisants.

-les sujets reçoivent les modalités de récupération seuls et dans un ordre aléatoire.

-entre les essais, un **minimum d'1 semaine d'entraînements de basse intensité**.

-**une fois par semaine**, à la même heure du jour et après un jour de repos, les athlètes effectuent 2 tests intermittents de récupération YoYo, niveau 2, séparés de **15 min** (correspondant à la durée d'une mi-temps au handball). Le YoYo niveau 2 comprend un aller-retour entre deux séries de plots espacés de 20m, avec départ, virage, et retour en sens inverse, sur un tempo qui va crescendo selon un guidage audio (« bips ») par ordinateur. Les coureurs ont 2X5mètres de jogging entre chaque aller-retour chronométré. Le test se finit quand un sujet échoue deux fois à passer la ligne d'arrivée dans le temps imparti. Test en intérieur, température contrôlée, propres chaussures des athlètes.

-**une semaine avant l'étude, familiarisation avec le schéma des tests et les lieux**. Un test préliminaire est alors réalisé, et la charge d'entraînement sera désormais contrôlée tous les jours. Le test préliminaire mesure la VO₂max, par incrémentation de puissance sur ergocycle jusqu'à épuisement des sujets, à une fréquence de pédalage laissée libre : la puissance de résistance de l'appareil s'ajuste automatiquement à la fréquence de pédalage. Aucun feedback pour l'athlète pendant le test sur sa fréquence de pédalage. La ventilation minute, la consommation d'oxygène (VO₂), et la production de CO₂ étaient enregistrées.

-pas de consommation d'anti-inflammatoires, antalgiques, ou analgésiques, ni de compléments en anti-oxydants. Pas d'utilisation de méthodes de récupération complémentaires (étirements, massages, récupération active...).

-calendrier des apports nutritionnels et d'activités pour standardiser **les apports en alimentation solide et liquide** durant la semaine précédant chaque session. Pas de caféine le jour précédant le test, et pendant la durée de l'étude.

-*récupération de 15 min* : elles utilisent une des 3 modalités de récupération : récupération active, récupération par ESNM basse fréquence sur le mollet, ou récupération passive.

Modalités de récupération

ESNM : les patients des groupes ESNM basse fréquence et récupération passive

restent assis pendant les 15 min. Le groupe ESNM reçoit 2 électrodes autocollantes Veinoplus (8X13cm) alimentées par l'appareil Veinoplus monocanal : une électrode sur le mollet gauche en position centrale et médiane, l'autre électrode symétrique à droite. Le courant est fait d'ondes rectangulaires de basse énergie ($<25 \mu\text{C}$), de faible voltage (50V_{peak}). La fréquence porteuse est de 250 Hz et la durée d'impulsion est de 25 μs à 250 μs . Les spécificités de la stimulation par Veinoplus résultent en : contractions des muscles du mollet 60 fois à 90 fois par minute pendant les 15min de récupération. La durée entre chaque contraction change automatiquement toutes les 5 min. Le voltage de crête de l'appareil varie de 0,5 V à 50 V avec un pas de 0,5 V. Pendant l'intervention, le voltage de crête est ajusté manuellement dans un intervalle de 20 à 40 volts de crête (tolérance du joueur). Ces voltages permettent une stimulation des muscles des mollets symétrique. Pour limiter les différences de réglage entre joueurs, un seuil minimal était fixé par les investigateurs soit une contraction visible des muscles du mollet avec une sensation confortable

Récupération active :

15 min de pédalage sur cyclo-ergomètre à une cadence de pédalage libre. La puissance de pédalage est pour cette récupération ajustée individuellement d'après les résultats de VO₂max, et correspond à 40% de la VO₂max de chaque sportif (choix d'après littérature existante).

Comparaison

Appareil d'ESNM basse fréquence modèle Veinoplus versus récupération active versus récupération passive.

Outcome

Prélèvement sanguin : avant, immédiatement après, et toutes les 3 mn (3,6,9,12,15) pendant la récupération, après le premier Yo-Yo → analyse lactates, pH, bicarbonates HCO₃⁻.

Performance et RPE : à la fin de chaque test YoYo (niveau 2)

Mesures cardio-respiratoires : cardiofréquence-mètre Polar RS400, et échanges respiratoires mesurés par automate Cosmed K4b2

Mesures de spectroscopie infrarouge :

Mesure l'index de saturation des tissus (TSI), rapporté en tant que variation par rapport à la valeur basale de saturation. Elle est « moyennée » pendant 30 secondes avant chaque test. Pendant chaque période de récupération, l'appareil est attaché au gastrocnémien latéral de la jambe droite, par velcros. Des interférences entre l'ESNM et la spectrométrie IR ont été relevées et supprimées par un traitement statistique pendant l'analyse.

Mesures subjectives : le sportif donne une évaluation de l'effort après chaque YoYo niveau 2 pour l'ensemble du corps, notée sur échelle de 6 (pas d'effort du

	<p>tout) à 20 (effort maximal). A la fin de chaque période de récupération, les sujets évaluent l'intervention de récupération sur échelle de Likert à 10 points (« à quel point avez-vous la sensation d'avoir récupéré après cette intervention de récupération ? »)</p>
Méthodes	<p>Population étudiée (sélection)</p> <p>14 handballeuses très entraînées (24,7 +/- 3,8 ans ; taille de 173,3 +/- 5,2 cm ; poids de 68,4 +/- 8,2 kg), volontaires pour cette étude, hors saison. Les athlètes prenaient part à des compétitions nationales et internationales. Les questions d'éthique étaient vues par le CPP d'Ile de France, avec informations et consentement libre et éclairé</p>
	<p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Cf. population.</p>
	<p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai contrôlé randomisé avec analyse statistique quantitative.</p>
	<p>Discussion : choix des groupes, articles (aveugle ? double aveugle ?)</p> <p>-</p>
Résultats	<p><u>Performance au test YYIR2</u></p> <p>Les performances entre les tests YYIR2 #1 et YYIR2 #2 étaient probablement en déclin avec l'ESNM Veinoplus et la récupération active, comparativement à la récupération passive, avec des écarts-types modérés et faibles respectivement. De plus, l'analyse qualitative suggère que l'ESNM basse fréquence a un effet bénéfique 65% plus important que la récupération active.</p> <p><u>Analyses sanguines</u></p> <p>Pour les points 12 et 15min de la récupération, la concentration en lactates était très probablement et presque certainement plus basse pendant la récupération active que pendant la récupération passive, avec une différence standardisée large. <i>A 15 min, la variation de la lactatémie était plutôt plus faible pour l'ESNM que pour la récupération passive, avec une différence standardisée modéré. Il y avait une différence très probable de lactatémie entre l'ESNM et la récupération active, avec des valeurs plus faibles pour cette dernière par rapport à l'ESNM, à 12 et 15 min avec une différence standardisée large.</i></p> <p><u>pH et HCO3-</u></p> <p>Valeurs probablement plus élevées à partir de t3mn jusqu'à la fin de la récupération avec ESNM et récupération active versus passif.</p>

	<p>Exceptée une différence très probable dans le pH, entre l'ESNM et la récupération active à 3 min, il n'y a eu aucune différence claire pour les mesures suivantes, y compris pour les valeurs de HCO₃⁻.</p> <p><u>FC, VO₂ et saturation</u></p> <p>Les valeurs moyennes de FC et de VO₂ pendant la récupération étaient presque certainement plus faibles en récupération passive et avec l'ESNM versus récupération active. La valeur moyenne en % de la saturation était presque certainement plus élevée en récupération active qu'en ESNM ou en récupération passive. Pas de différences concluantes pour les valeurs de VO₂ et de saturation entre les modalités ESNM et passif. La FC moyenne était plutôt plus faible avec l'ESNM par rapport à la récupération passive, mais la différence entre les deux modalités était faible.</p> <p><u>RPE et récupération perçue</u></p> <p>Pas de différences claires entre les modalités sur le critère RPE mesuré à la fin des deux YYIR tests. La récupération perçue était presque certainement plus élevée en récupération active et pour l'ESNM comparativement à la récupération passive, avec une différence standardisée large.</p>
--	---

<p>Discussion</p>	<p><u>Discussion</u></p> <p>Une étude antérieure a montré un effet positif de l'ESNM sur la récupération des performances (Bieuzen et al. 2012) mais n'a pas pu fournir de résultats physiologiques ou biologiques pour étayer les résultats observés.</p> <p>Nous nous interrogeons sur l'effet psychologique de la récupération par ailleurs.</p> <p>Hypothèse d'une élimination accélérée grâce à la modalité active pourrait être contrecarrée par une synthèse retardée du PCr dans cet état.</p> <p>L'ESNM aux muscles du mollet pendant une période de récupération de 15 minutes favorise la reproduction des performances après une courte période de récupération. Bien que plus lente qu'avec une récupération active, nous avons observé une élimination accélérée des déchets métaboliques.</p> <p>Réponse à la question annoncée</p> <p>Effets positifs substantiels de l'ESNM basse fréquence sur la performance de course à pied de haute intensité suivante. Appliquer l'ESNM aux muscles du mollet pendant 15 min favorise la récupération en course à pied après une courte période de récupération. Bien que plus lente qu'avec la récupération active, on observe avec l'ESNM une clairance des produits métaboliques connus pour altérer la contraction musculaire. En outre, la consommation d'O₂ est la même pour l'ESNM basse fréquence que pour la récupération passive (contrairement à la récupération active)</p>
--------------------------	---

	<p>Conclusion</p> <p>Effets positifs substantiels de l'ESNM basse fréquence sur la performance de course à pied de haute intensité suivante. Appliquer l'ESNM aux muscles du mollet pendant 15 min favorise la récupération en course à pied après une courte période de récupération. Bien que plus lente qu'avec la récupération active, on observe avec l'ESNM une clairance des produits métaboliques connus pour altérer la contraction musculaire. En outre, la consommation d'O₂ est la même pour l'ESNM basse fréquence que pour la récupération passive (contrairement à la récupération active)</p>
<p>Forme de l'article</p>	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p>
	<p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade B, preuve 2.</p>

Titre de l'article

Bieuzen F, Pournot H, Roulland R, Hausswirth C. Recovery after high-intensity intermittent exercise in elite soccer players using VEINOPLUS sport technology for blood-flow stimulation. J Athl Train.2012;47(5):498-506.

Auteurs/année/vol/page

Bieuzen F, Pournot H, Roulland R, Hausswirth C.

Lien

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23068586>

Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation

Grade A, niveau 1.

Accédé le

24/10/2019

Introduction	Objectifs Investiguer l'efficacité de l'ESNM avec l'appareil Veinoplus sur la cinétique de récupération de la force explosive, de la performance en 30 secondes, des taux de CK et de lactates, chez les footballeurs professionnels, après un effort intermittent épuisant.
	Question de recherche Quelle est l'efficacité de l'ESNM avec l'appareil Veinoplus sur la cinétique de récupération de la force explosive, de la performance en 30 secondes, des taux de CK et de lactates, chez les footballeurs professionnels, après un effort intermittent épuisant ?
	Hypothèse de recherche L'ESNM a été décrite comme améliorant la récupération sur la base d'une augmentation du flux sanguin dans la zone stimulée. Mais les études précédentes ont échoué à prouver cette hypothèse. Notre hypothèse est que le manque d'effets prouvés peut être attribué à la technique ou à l'appareil d'ESNM utilisé ou à la localisation de la stimulation (systémique pour le mollet, locale pour le quadriceps). L'utilisation de Veinoplus donnerait une meilleure restauration de la performance anaérobie que la récupération passive.

PICO

Participants

26 hommes footballeurs professionnels en bonne santé (âge moyen : 25,6 +/- 5,7 ans ; taille : 1,77 +/- 0,8 m ; masse : 75,0 kg +/- 12,2 kg ; VO₂max : 60,1 +/- 3,7 mL/min/kg) de 2 équipes volontaires. Randomisation en 2 groupes : groupe expérimental utilisant l'appareil Veinoplus de stimulation électrique du flux sanguin, et un groupe contrôle.

3 participants du groupe contrôle n'ont pas été capables de réaliser les exercices, et ont donc été exclus de l'étude.

Intervention

- Les sujets réalisent un exercice intermittent épuisant, suivi d'1h de récupération.
- Les 24h suivantes : >9h de sommeil et pas de pratique sportive ou d'autre activité exigeante.
- 10 min avant l'exercice intermittent épuisant, puis immédiatement après, 1h après, et enfin 24h après, les sujets réalisent un test de force explosive et un test de performance globale de 30 secondes. La force explosive est testée par la contraction maximale volontaire (MVC en anglais) des extenseurs du genou, et par un saut à contrebas maximal (CMJ en anglais). La puissance moyenne pendant les 30 secondes (P30sec) d'exercice indique principalement la capacité anaérobie.
- exercice intermittent épuisant : 2*10min, séparés par 10min de repos passif contrôlé. Chacun des deux sets consiste en une alternance de 30 secondes de sauts en contrebas (CMJ) à une fréquence imposée de 0,7 Hz, et de 30 secondes de rameur à une puissance imposée de 80% de P30sec, avec une période de récupération de 30 secondes entre les exercices. Durant les 30 secondes de récupération, les sujets restent debout.
- avec ce protocole, nous essayons de générer une fatigue musculaire à la fois systémique et locale, comparable avec les exigences d'un match de football.

Récupération

Les sujets des groupes ESNM et récupération passive restent assis sur une chaise avec des mouvements minimaux pendant 1h de récupération. Pendant les 20 premières min de cette heure, les sujets ESNM, le groupe ESNM utilise l'appareil en restant assis. Deux électrodes sur la peau placées symétriquement sur la partie médiane du triceps sural des deux jambes.

Stimulation : impulsions rectangulaires de faible énergie (<25 µC), de faible voltage (50V_{peak}), et faible fréquence (<1,75 Hz), avec une durée d'impulsion maximale de 240 µs. La forme de chaque impulsion de courant était biphasique et **asymétrique**, conduisant à des contractions presque symétriques des mollets de chaque jambe. L'athlète pouvait ajuster le courant selon sa **tolérance**. Pour limiter les différences inter-joueurs, nous établissons un seuil minimal

correspondant à une contraction visible mais confortable des mollets, sans douleur. Le rythme des stimulations (fréquence ?) était préréglé dans l'appareil. Le laps de temps entre les stimulations changeait automatiquement toutes les 5 min. **La fréquence de stimulation était de 1 Hz les 5 premières min, puis de 1,25 Hz les 5 min suivantes, puis de 1,5 Hz pour les 5 min. La séance de stimulation durait 20 minutes et produisait 1600 contractions rapides de chaque triceps sural.**

Comparaison

Groupe Veinoplus versus groupe contrôle.

Outcome

La force explosive est testée par la contraction maximale volontaire (MVC en anglais) des extenseurs du genou, et par un saut à contrebas maximal (CMJ en anglais). La puissance moyenne pendant les 30 secondes d'exercice indique principalement la capacité anaérobie.

MVC des extenseurs du genou : mesurée sur dynamomètre isocinétique (mesure du couple de la jambe non dominante). La MVC est déterminée à 70° de flexion de genou (pour avoir des conditions identiques pour chaque test MVC).

MESURES DE PERFORMANCE

- **MVC : 3 extensions maximales du genou pendant 3 secondes sont réalisées, séparées de 60 secondes de repos. Encouragements. La meilleure valeur est prise en compte.**
- **Vertical CMJ : la hauteur du saut était mesurée en utilisant un dynamomètre iso-inertiel. Les patients devaient garder les mains sur les hanches pour que les mouvements des bras n'influencent pas la hauteur de saut vertical. 3 essais partant de la position debout, avec 1 min de récupération entre les essais. La consigne était de sauter aussi haut que possible, et le saut le plus haut était retenu pour les analyses.**
- **Exercice global de 30 secondes= P30sec : la P30sec était mesurée sur un ergomètre de type rameur. Après 5 min d'échauffement standardisé, il était demandé aux participants de ramer pendant 30 secondes selon un effort maximal. La valeur moyenne de la puissance réalisée par le sujet était calculée au « coup par coup ». Pour les exercices intermittents épuisants, un seuil à 80% de cette valeur était utilisé.**

MESURE PERCEPTION DOULEURS

- **Douleurs post-exercice :**
- **Les douleurs post-exercice perçues, étaient évaluées par échelle visuelle analogique (EVA) pendant le demi-squat standardisé, pour garantir une référence standardisée.**
- **Les sujets notaient leur douleur sur l'échelle EVA avant**

	<p align="center">l'intervention, 1h après celle-ci, puis 24h après.</p> <p><u>MESURE VARIABLES SANGUINES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - <u>Analyses enzymatiques :</u> - Les CK du plasma sanguin et les concentrations en enzymes LDH étaient évaluées par un automate analyseur. - <u>Profile hématologique :</u> - Les leucocytes, neutrophiles, lymphocytes, monocytes, éosinophiles, et les érythrocytes sont dénombrés, et les concentrations en hémoglobine et en hématocrite sont mesurées par un automate. <p>Les concentrations en enzymes musculaires (lactate-deshydrogénase, créatine-kinase) indiquent les lésions musculaires. Les profils hématologiques ont été pris 1h et 24h après l'effort épuisant intermittent.</p> <p>Tous les échantillons sanguins ont été pris avant le test de force explosive et les tests de capacité anaérobique pour éviter un biais des résultats.</p> <p>La perception de la douleur de chaque participant au quadriceps a été objectivée par une échelle visuelle analogique (VAS en anglais), mesurée avant les deux tests, puis le lendemain.</p> <p>Les mesures enzymatiques des enzymes musculaires (CK et LDH) et des douleurs au quadriceps sont des marqueurs communs pour évaluer les courbatures (DOMS).</p>
Méthodes	<p>Population étudiée (sélection)</p> <p>26 hommes footballeurs professionnels en bonne santé (âge moyen : 25,6 +/- 5,7 ans ; taille : 1,77 +/- 0,8 m ; masse : 75,0 kg +/- 12,2 kg ; VO2max : 60,1 +/- 3,7 mL/min/kg) de 2 équipes volontaires. Randomisation en 2 groupes : groupe expérimental utilisant l'appareil Veinoplus de stimulation électrique du flux sanguin, et un groupe contrôle.</p> <p>3 participants du groupe contrôle n'ont pas été capables de réaliser les exercices, et ont donc été exclus de l'étude.</p> <hr/> <p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Capacitance veineuse normale, et pas de reflux veineux</p> <hr/> <p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai contrôlé randomisé</p> <hr/> <p>Discussion : choix des groupes, articles (aveugle ? double aveugle ?)</p>

	-
Résultats	<p><u>Performance : P30sec, CMJ, VMC extenseurs</u></p> <p>Les valeurs de P30sec retournent plus vite à la normale après l'ESNM qu'après la récupération passive. <i>En revanche, aucune différence constatée sur la MCV, le CMJ, les variables sanguines (CK, LDH, and le profil hématologique) et le score EVA, entre les modalités de récupération.</i></p> <p>La P30sec, exprimée en pourcentage de l'évaluation pré-intervention, est principalement affectée par le type de récupération (p=.003) et par le cours du temps (p<.001). Il existe une interaction entre la modalité de récupération et l'évolution de P30sec au cours du temps (p=.04).</p> <p>Ainsi, à 1h, des différences de P30sec existent entre les traitements (p=0.03) : la P30sec après ESNM était plus élevée qu'après récupération passive (en moyenne 101.1 versus 88.8 W). En revanche, aucune différence n'a été observée à aucun autre moment entre l'ESNM et la récupération passive (p>0.05).</p> <p>Les valeurs de la MCV et du CMJ ont été affectés par la variable temps (p<0.001), mais il n'y a pas eu d'effet de récupération. Il n'y a en revanche pas d'influence de la modalité de récupération sur son évolution dans le temps (p=.23 pour la MCV, et p=.74 pour le CMJ).</p> <p><u>Analyses enzymatiques et profil hématologique</u></p> <p>L'examen des données sur les CK et LDH révèle un effet du temps (p<.001 et p<.009 respectivement), mais pas d'effet de récupération. Pas d'influence de la modalité de récupération sur son évolution dans le temps en termes de CK et LDH (p=0.67 et p=.81 respectivement). Dans le groupe ESNM et le groupe contrôle, la numération des leucocytes, neutrophiles, monocytes a augmenté (p allant de <.001 à 0.02) 1h post-exercice pour retourner ensuite à la valeur basale. Pas de différence observée pour les autres valeurs hématologiques (lymphocytes, éosinophiles, érythrocytes, hémoglobine, hémocrite) quel que soit le moment de la mesure.</p> <p><u>Mesure de la douleur/courbatures</u></p> <p>L'examen de l'EVA a révélé une évolution temporelle (p<0.001). Mais pas d'effet de récupération (p=0.84), et pas de différence de la modalité de récupération sur sa propre évolution dans le temps (p=0.84).</p>

Discussion	<p>Discuter critères de jugement et biais</p> <p><u>Discussion</u></p> <p>Nous espérons montrer les effets systémiques de Veinoplus sur les marqueurs</p>
-------------------	---

de performance et les marqueurs sanguins, i.e. montrer une récupération accélérée de la force explosive grâce à une clairance plus rapide des marqueurs de lésions musculaires.

Notre résultat principal montre que c'est en partie le cas : une récupération plus rapide de la performance sur 30 secondes après ESNM vs récupération passive. Cependant, aucune différence de données à propos des indicateurs CMJ et MVC n'a été relevé entre ESNM et groupe contrôle

MARQUEURS CK

Pas d'effet de l'ESNM sur la clairance des marqueurs sanguins et sur la perception de la douleur. Pour les deux groupes, les CK ont augmenté de la même façon à 24h, alors que les LDH sont restées au niveau initial. La littérature contient des résultats contrastés sur cette question, en fonction de la modalité de récupération (vêtements de compression, récupération active, immersion contrastée) et leur localisation. Cette hétérogénéité des cinétiques des clairances de CK pourrait s'expliquer par le niveau et l'évolution dans le temps des CK. **Pour Duffield et al, les modalités de récupération ont des effets positifs sur la clairance des CK durant les 24 premières heures seulement lorsque le niveau initial des CK était très haut. Ce n'était pas le cas dans notre étude.**

Deuxièmement, nous nous concentrons ici sur une récupération à court terme (<24h), ce qui constitue une limite à notre étude : en effet, dans la littérature, le temps de restauration des lésions musculaires post-exercice dépasse les 24h (Tiidus, 1995). Pour la clairance des CK et la récupération du couple de force musculaire, de nombreux auteurs ont montré que 36h étaient nécessaires pour remarquer des différences entre les modalités de récupération après un exercice excentrique complet (Newman et al, 1983). En réalité, la plupart des chercheurs ont utilisé un mode de contraction excentrique, contrairement à nous, ce qui cause plus de lésions musculaires. Ce type de contraction permet de mieux observer les effets d'un type particulier de récupération sur les marqueurs CK mais il s'éloigne aussi de la réalité des pratiques sportives. Evaluer sur une période de plus de 24h pourrait donc montrer des résultats différents.

Marqueurs LDH

Contrairement aux augmentations de CK et à la diminution de la MVC, le taux de l'enzyme LDH avait conservé sa valeur basale dans les deux groupes. Cela rejoint de précédents résultats (Friden et al, 1983), qui ont trouvé des concentrations de CK élevées sans aucun changement sur les concentrations de LDH, alors même que le protocole demandait un travail excentrique du compartiment antérieur de la jambe. La réponse des lactates pourrait être en lien avec la taille du groupe musculaire affecté par le protocole. Les différences entre les réponses des CK et LDH sont

plus probablement le résultat de différences structurelles des zones dans lesquelles elles sont séquestrées avec les sarcomères, et ces différences de réponse dépendent aussi du mécanisme initial de la lésion.

Douleurs/courbatures perçues

Les valeurs précédemment mises en avant pour les marqueurs lésionnels du muscle sont en rapport avec l'échelle de douleurs musculaires de l'étude : aucune amélioration malgré les modalités de récupération : **les deux groupes ont montré une augmentation des marqueurs de courbatures musculaires.** Deux précédentes études ont testé un protocole de récupération excentrique similaire sur les courbatures, ne montrant aucun effet sur celles-ci (respectivement courant de 8 Hz, 400 μ s, 20-30 mA, sur membres inférieurs, et 0,3 Hz, 40 μ A sur membres supérieurs). Mais **la fréquence trop élevée et l'intensité soit trop haute soit trop basse ne peuvent pas conduire à des variations hémodynamiques optimales.** En contraste avec ces deux études, **Griffin et al. ont mesuré le flux sanguin et ont montré qu'il n'est pas possible de mettre en doute l'efficacité hémodynamique de ces appareils.**

Notre étude montre que l'appareil n'a pas la capacité de réduire les éventuels dommages aux structures des sarcomères ou les processus inflammatoires. Notre manque de résultats positifs dans la réduction des marqueurs de lésions musculaires ne peut pas être attribué à une augmentation limitée du flux sanguin systémique (les contractions n'étaient pas purement excentriques). Par conséquent, on peut émettre l'hypothèse que le seuil minimal pour observer un effet positif de l'ESNM pourrait ne pas avoir été atteint.

Performances

Nous avons un effet positif sur la performance anaérobie avec une récupération plus rapide de celle-ci (puissance maximale maintenue pendant le test de 30 secondes) par l'ESNM, comparativement au groupe passif. Au contraire, pas d'effet de récupération sur la force (MVC). Les deux groupes ont atteint leur valeur basale de CMJ dès 1h post-intervention, indiquant que **l'exercice physique n'était pas assez fatigant pour tester l'effet de la récupération.**

Les sujets de notre étude n'étaient **pas en aveugle, si bien que nous ne pouvons pas exclure un effet idéomoteur qui pourrait influencer les résultats.**

Test de 30 secondes

Pour beaucoup d'auteurs, une des limites de l'exercice exténuant de courte durée (<90secondes) est liée à la fatigue périphérique (MacIntosh et al, 2002). En effet, un exercice de courte durée et de haute intensité est habituellement lié à un excès dans la concentration de métabolites, comme les phosphates inorganiques, les ions hydrogènes, l'adénosine diphosphate, les radicaux libres, ou le CO₂, et un arrêt de la circulation. L'accumulation de ces métabolites est donnée pour altérer l'effet « cross-bridge » de la production de force, **Neric et**

al. Ont montré que l'ESNM réduit la lactatémie sanguine après une séance de sprints en natation. A notre connaissance, c'est la seule étude disponible concernant les effets de l'ESNM qui montre une amélioration de la clairance des lactates, mais pas de la capacité de récupération anaérobie. De même, Yoshida et al. Ont démontré qu'améliorer le flux systémique et le retour veineux grâce à la récupération active pouvait aider à l'élimination du phosphate inorganique. Dans ce contexte, nous suggérons que l'amélioration de la force et des performances anaérobiques à 1h du fait de l'ESNM pourrait être principalement due à une meilleure élimination des métabolites. Cela était probablement dû à une stimulation efficace et spécifiquement localisée (sur triceps sural), induisant une action systémique sur la circulation sanguine.

Tests de MVC et de CMJ

Les résultats indiquent des restaurations similaires des propriétés de force, i.e. le CMJ et la MVC, pour toutes les modalités de récupération. Pour ces deux tests, aucun effet de la récupération au cours de la première heure après l'exercice fatiguant.

Des résultats mitigés existent dans la littérature, dépendant des protocoles d'exercices utilisés juste auparavant. Dans les études sur l'ESNM, pas d'amélioration de la MVC le plus souvent (Martin et al, 2004. Weber et al, 1994). Ces résultats rejoignent ceux de chercheurs qui souhaitaient évaluer l'effet d'une technique de récupération améliorant la circulation sanguine (i.e. vêtements de compression) sur la force explosive (i.e. saut vertical) après un exercice fatiguant. En effet, aucun effet des vêtements de compression comparés au groupe passif et à l'immersion contrastée, sur les muscles endommagés. **Dans ces études, la fatigue est générée moins par l'accumulation de métabolites que par des lésions tissulaires. L'ESNM ne semble pas favoriser les processus de régénération associés à des traumas des fibres contractiles.**

De la même façon, les réponses hématologiques montraient de faibles augmentations 1h après. Ce résultat est classiquement décrit dans la littérature s'intéressant aux dommages causés aux muscles squelettiques, mais les valeurs mesurées ici n'indiquent pas de dommage musculaire majeur.

Réponse à la question annoncée

Les footballeurs élite utilisant Veinoplus ont vu une amélioration de la récupération de leurs performances anaérobie après un effort intermittent épuisant, comparativement au groupe passif. En revanche, ni le groupe Veinoplus ni le groupe passif n'ont vu la clairance des marqueurs de lésions musculaires s'améliorer. L'utilisation de l'ESNM peut être bénéfique dans le cas spécifique de la récupération après fatigue périphérique. Mais l'apport de l'ESNM concernant une capacité améliorée pour un retour à l'homéostasie n'est pas clarifié.

	<p>Conclusion</p> <p>Les footballeurs élite utilisant Veinoplus ont vu une amélioration de la récupération de leurs performances anaérobies après un effort intermittent épuisant, comparativement au groupe passif. En revanche, ni le groupe Veinoplus ni le groupe passif n'ont vu la clairance des marqueurs de lésions musculaires s'améliorer. L'utilisation de l'ESNM peut être bénéfique dans le cas spécifique de la récupération après fatigue périphérique. Mais l'apport de l'ESNM concernant une capacité améliorée pour un retour à l'homéostasie n'est pas clarifié.</p>
<p>Forme de l'article</p>	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p>
	<p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade A, niveau 1.</p>

Titre de l'article
Cochrane DJ, Teo C. The effect of neuromuscular electrical stimulation (Firefly™ device) on blood lactate clearance and anaerobic performance. Edorium Journal of Sports Medicine. 2015;1:1-6.
Auteurs/année/vol/page
Cochrane DJ, Teo C/2015/1:1-6.
Lien
http://www.edoriumopen.com/archive/2015-archive/100001S02DC2015-cochrane/index.php
Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation
Grade B, Niveau 2.
Accédé le
24/10/2019

Introduction	Objectifs
	Evaluer l'efficacité de l'ESNM dans sa capacité à accélérer l'élimination des lactates en récupération aigue et améliorer la performance anaérobie.
	Question de recherche
	Quelle est l'efficacité de l'ESNM dans sa capacité à accélérer l'élimination des lactates en récupération aigue et à améliorer la performance anaérobie ?
	Hypothèse de recherche
	Des études ont montré une capacité de l'ESNM à accélérer la clairance des lactates plus rapidement que la récupération passive pendant une phase de récupération aigue (20-30 min. Bieuzen, Borne et al 2012 ; Neric et al, 2009 ; Seo et al, 2011). En revanche, Malone et al. (2012) ont montré que l'utilisation de l'ESNM pendant 30 min de récupération après un exercice d'intensité supra-maximale n'a pas accéléré la clairance des lactates, et aucune amélioration n'a été constatée en termes de force isométrique, de puissance des membres inférieurs, et de performance cycliste anaérobie, en comparaison avec le repos passif. Ces différences de résultats s'expliquent par les protocoles utilisés, par l'équipement et la localisation de la stimulation.
	Partant de ces constats, un nouvel appareil a vu le jour, sans fil, portable, facile à

utiliser (nom commercial : Firefly). Ce matériel est dédié aux athlètes qui souhaitent utiliser des modalités de récupération non contraintes par le temps, l'espace, ou par la nécessité d'un équipement spécialisé. L'évaluation de l'efficacité du Firefly n'a été faite jusque là que pour des périodes de récupération de 24h ou plus (Ferguson 2014, Beaven 2013).

A notre connaissance, il n'y a pas eu d'étude sur l'utilisation de ce nouvel appareil – Firefly- d'ESNM pendant une récupération à court terme (< 1h) suivant un effort de haute intensité et de courte durée. Cet appareil (Firefly, OnPulse Technology, Firstkind Ltd) peut activer le nerf fibulaire en influençant le flux sanguin local pour augmenter l'élimination des métabolites accumulés par la stimulation des muscles de la cheville et du pied : **hypothèse a été faite que l'ESNM serait plus efficace que la récupération passive pour accélérer la clairance des lactates pendant la récupération et améliorer la performance anaérobie après un séance de cyclo-ergomètre de haute intensité et de courte durée.**

PICO

Participants

9 sujets volontaires en bonne santé (6 hommes et 3 femmes ; âge 23,3 +/- 2,8 ans ; taille 1,70 +/- 0,1 m ; masse 66,7 +/- 10,2 kg) engagés dans des activités physiques d'intensité modérée au moins 3 fois par semaine

Intervention

- **3 sessions distinctes** au laboratoire du sport de l'université Palmerston North, Nouvelle-Zélande.
- **1^{ère} session : familiarisation** avec le test **Wingate** et l'appareil d'ESNM **Firefly : intensité** sélectionnée par le sujet lui-même pour obtenir une contraction musculaire confortable, servira de niveau d'intensité pour les séances suivantes.
- **2^{ème} et 3^{ème} session** : échauffement à 100W sur cyclo-ergomètre pendant 3 min avec 1 min de repos avant de réaliser le WinGate Test de 30 secondes (pré-récupération), puis 30 min de récupération, soit passive, soit avec l'ESNM (attribution aléatoire), puis à nouveau réalisation d'un WinGate Test (post-récupération)
- **la durée de 30 min** pour la récupération a été choisie car elle est **pertinente** pour beaucoup d'événements sportifs avec manches de « repêchage » séparées de moins d'une heure.
- Il était demandé aux sujets de maintenir leur apport nutritionnel habituel et de s'interdire toute activité physique, toute prise de caféine dans les 24h avant la session n°2, et de même pour la n°3.
- **7 jours entre chaque session de test**, et chaque session de test avait lieu à la **même heure du jour**.

Modalités de récupération

- l'appareil d'ESNM Firefly est un appareil portable alimenté par batterie, placé sur la jambe droite et la jambe gauche. L'appareil est positionné

	<p>sur le centre de la tête de la fibula, l'arrière de l'appareil étant placé à l'arrière de la jambe sur la fosse poplitée. Le courant est de 27 mA, et 7 niveaux de largeur d'impulsion sont possibles (70-560 µs) avec une fréquence de 1 Hz. Pour obtenir une contraction tolérable et confortable des muscles inférieurs de la jambe, les participants sélectionnent la largeur d'impulsion (niveau de 1 à 7) pendant la session de familiarisation, qui n'était pas plus bas que 100 µs (niveau 2) ni plus haut que 140 µs (niveau 3).</p> <ul style="list-style-type: none"> - les participants recevaient l'ESNM assis dans une chaise pendant 30 min, et pour le traitement passif, les patients restaient simplement assis 30 min. <p><u>Comparaison</u></p> <p>Groupe Firefly versus groupe contrôle.</p> <p><u>Outcome</u></p> <p>Un WinGate Test est réalisé alors que le sujet est déjà en train de pédaler, à une charge de 0.07 kp par kg de masse corporelle. Les participants étaient encouragés pendant le test, et les données suivantes ont été enregistrées : puissance moyenne (Pm), puissance maximale (Pp) ; temps à la puissance maximale (TPP), et index de fatigue (FI).</p> <p>La puissance max Pm est réalisée dans les 5 premières secondes de la session de 30 secondes. La puissance moyenne est calculée sur les 30 secondes. Le TPP est calculée du départ du test jusqu'à l'arrivée à la puissance maximale. L'index de fatigue FI est défini en enlevant la valeur de la puissance minimale à la puissance maximale, puis en divisant le résultat obtenu par la puissance maximale, calculé en pourcentage.</p> <p>Lactates du sang : par échantillon de l'index, analysé par un lactate-mètre portable. Prélèvements pendant la phase de récupération à 2 min, 5 min, 15 min, et 30 min.</p>
	<p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Cf. population étudiée.</p> <p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai contrôlé randomisé</p>

Résultats	<p>Pas de différence significative ($p > 0,05$) dans la performance au Wingate Test, tout comme la puissance moyenne qui n'a pas été réduite de manière significative ($p > 0,05$) suite à l'ESNM.</p> <p>Pour les lactates, l'ESNM n'a pas accéléré leur clairance par rapport au passif. Pas de différence significative ($p > 0,05$) de lactatémie entre les traitements au début de la phase de récupération (après 2 min).</p> <p>Pour les paramètres de performance de PP, FI et TPP, il n'y a eu aucun effet principal ou d'interaction ($p > 0,05$). Cependant, il y a eu un effet de traitement où le PP était significativement plus faible à la suite d'une ESNM ($p = 0,042$) par rapport au TPP.</p>
------------------	---

Discussion	<p><u>Discussion</u></p> <p>La conclusion principale de l'étude est que l'appareil d'ESNM Firefly n'accélère pas la clairance des lactates, et il fait chuter la puissance moyenne sur WinGate Test significativement en comparaison avec la récupération passive. Pas d'autres variations des critères de performances après cet exercice de courte durée et de haute intensité.</p> <p>Le fabricant de l'appareil affirme qu'il permet une augmentation de la circulation sanguine pour accélérer l'élimination des métabolites, favorisant la récupération des muscles des jambes et réduisant les courbatures. Du fait de la stimulation du nerf fibulaire et des muscles de la partie de la jambe, il était attendu du Firefly qu'il accélère l'élimination des lactates en comparaison avec la modalité passive. Cependant, malgré une réduction significative de lactatémie, aucune différence dans son élimination n'a été relevée entre ESNM et récupération passive. De précédentes études sur le Firefly rapportent peu d'effet sur l'accélération de l'élimination des lactates après un effort intermittent intense. D'autres études sur la récupération à court terme (<30min) ayant utilisé l'ESNM ont rapporté des clairances égales ou améliorées par rapport à celles d'une récupération passive. Il est possible que les effets attendus du Firefly n'aient pas été observés car le triceps sural n'était pas stimulé directement pour obtenir la contraction musculaire nécessaire à l'augmentation du retour veineux : dès lors, stimuler une masse musculaire plus large, comme le quadriceps et les ischio-jambiers peut apporter de meilleurs résultats.</p> <p>La relation entre la clairance des lactates et le niveau de la performance qui suit est sujette à précautions : dans les études précédentes sur les modalités actives et passives de récupération, les niveaux de lactates ont été diminués avec une amélioration concomitante de la performance. D'autres études ont montré que malgré l'abaissement des niveaux de lactate grâce à la récupération active, la performance n'a pas été améliorée. De même, 30 min de récupération active entre des efforts supramaximaux en cyclisme ont</p>
-------------------	--

accélération de la clairance des lactates après ESNM versus récupération passive, mais cela n'a pas amélioré la performance (Malone, Coughlan, 2012)

De ce fait, améliorer l'élimination des lactates pourrait ne pas être un bon indicateur pour déterminer la qualité de la récupération, car accélérer la clairance ne conduit pas systématiquement à une performance supérieure.

Le **type de courant** utilisé dans notre étude, i.e. 27 mA avec une largeur d'impulsion de 100-140 μ s a **peut-être été inapproprié** pour engendrer une augmentation localisée du flux sanguin et accélérer l'élimination des lactates, ce qui peut expliquer l'absence de différences significatives entre ESNM et récupération passive. De même, l'ESNM n'a pas eu d'effet sur la Ppeak, le TPP, le FI en comparaison avec le passif, ce qui est déjà observé chez Malone et al. bien que les groupes musculaires sollicités (quadriceps et ischio-jambiers) et le type d'appareil d'ESNM soient différents entre les études.

Dans notre cas, il est **difficile de comprendre pourquoi le seul paramètre de performance amélioré significativement versus récupération passive après ESNM est la puissance moyenne**. Nos sujets pratiquaient leur sport au **niveau loisir**, et l'intensité du stimulus d'ESNM a pu engendrer une fatigue qui a donné ensuite de moins bons résultats en puissance maximale au Wingate. **Il n'existe pas de consensus actuellement sur les critères de stimulation optimaux, bien qu'une largeur d'impulsion de 100-500 μ s soit considérée comme optimale.**

Une revue de la littérature récente (Malone, 2014) a rapporté une variation importante des paramètres de stimulation, avec des fréquences allant de 1 Hz à 8 Hz, une largeur d'impulsion de 125 à 500 μ s, et une intensité du courant de 17,5 à 92 mA. De plus, les groupes musculaires visés étaient différents : quadriceps, triceps sural, muscles de l'avant-bras, et la durée de l'intervention de récupération allait de 6 à 60 min. Selon cette étude, l'utilisation d'équipements différents est un contributeur majeur pour ces disparités, et cela peut contribuer au manque de consensus sur les paramètres pendant la récupération.

Réponse à la question annoncée

Utiliser l'appareil d'ESNM Firefly comme une modalité de récupération à court terme (30 min) n'a pas permis une accélération de la clairance des lactates, ni de changement de performance cycliste anaérobie, comparativement à une récupération passive.

Conclusion

Utiliser l'appareil d'ESNM Firefly comme une modalité de récupération à court terme (30 min) n'a pas permis une accélération de la clairance des lactates, ni de changement de performance cycliste anaérobie, comparativement à une récupération passive

Forme de l'article	IMRAD Oui
	Niveau de preuve selon HAS Grade B, niveau 2.

<p>Titre de l'article</p> <p>Erten YT, Sahinkaya T, Dinc E, Kilinc BE, Bayraktar B, Kurtoglu M. The effects of compression garments and electrostimulation on athletes' muscle soreness and recovery. J Exerc Rehabil.12(4):308-13.</p>
<p>Auteurs/année/vol/page</p> <p>Erten YT, Sahinkaya T, Dinc E, Kilinc BE, Bayraktar B, Kurtoglu M/2016/12(4):308-13.</p>

<p>Lien</p> <p>https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27656627</p>
<p>Niveau de preuve (ANAES)/ Grade de recommandation</p> <p>Grade B, preuve 2</p>
<p>Accédé le</p> <p>24/10/2019</p>

<p>Introduction</p>	<p>Objectifs</p> <p>Expliquer les effets des vêtements de compression et de l'ESNM sur le délai de récupération des athlètes par l'évaluation de la lactatémie et par le paramètre du couple maximal isocinétique.</p>
	<p>Question de recherche</p> <p>Peut-on expliquer les effets des vêtements de compression et de l'ESNM sur le délai de récupération des athlètes par l'évaluation de la lactatémie et par le paramètre du couple maximal isocinétique ?</p>
	<p>Hypothèse de recherche</p> <p>La performance du sportif est liée à la lactatémie sanguine et au métabolisme des lactates (Karlsson et al, 1975 ; Klausen et al, 1972)</p>

PICO

Participants

20 athlètes (âge 15,55 +/- 0,51 ans ; taille 177,7 +/- 9,26 cm ; masse 66,1 +/- 11,15 kg) dont 9 volleyeuses (âge 15,89 +/- 0,33 ans, taille 171,8 +/- 9,52 cm, masse 60,44 +/- 4,97 kg) et 11 volleyeurs (âge 15,27 +/- 0,46 ans ; taille 182,55 +/- 5,75 cm ; masse 70,73 +/- 12,81 kg).

Athlètes entraînés au moins depuis 3 ans et ce à raison de 8 h par semaine.

Intervention

- **2 tests** en laboratoire au cours de la **première semaine : le 1^{er} test est un test d'exercice cardio-pulmonaire (détermination de la VO₂max et de la fréquence cardiaque correspondant au seuil anaérobie) et le 2nd test est un test musculaire isocinétique pour détermination de la puissance musculaire et de l'endurance du triceps sural et du tibial antérieur. Un minimum de 48h était observé entre les deux tests.**
- Petit-déjeuner 2h avant de se rendre au laboratoire ; athlètes donnent leur dossier médical détaillé, mesure du poids et de la taille, examen physique visant à déterminer toute contre-indication pour le testing cardio-pulmonaire
- La FC de repos et la pression artérielle au repos étaient enregistrées puis par le biais d'un masque, il a été déterminé la FC cible au seuil anaérobie, et la VO₂max.
- Durant l'exercice cardio-pulmonaire, les sujets étaient monitorés, les variations ECG et de pression artérielle enregistrées **toutes les 3 min.**
- **Les participants continuaient le test jusqu'à épuisement, à moins que des symptômes ou signes cliniques particuliers ne viennent interrompre le protocole de Bruce.**
- Pendant le test cardio-pulmonaire de notre étude, la valeur moyenne des 10 dernières secondes à intensité maximale déterminait la VO₂max. Le seuil anaérobie était déterminé par la méthode de la pente en V. 85% du seuil était identifié personnellement, de sorte à adapter les exercices au métabolisme aérobie lors des protocoles de tests suivants.
- Le 2nd test est un test isocinétique d'évaluation de la puissance et de l'endurance du triceps sural et du tibial antérieur. Avant ce test, les sujets pédalaient pendant 10 min à 50-60 tr/min en guise d'échauffement, puis pratiquent des étirements des membres inférieurs pendant 5 min. Immédiatement après, le test isocinétique est réalisé sur appareil de type Cybex pour la cheville droite et gauche. Les couples de force maximaux des triceps suraux et des tibiaux antérieurs droit et gauche sont mesurés à une vitesse angulaire de 30°/seconde, et l'endurance est évaluée à 120°/seconde.

Les patients pratiquaient sur tapis de course à 85% de la FC correspondant au seuil anaérobie, pendant 30 min, afin de parvenir à un épuisement aérobie. Après ce protocole de 30 min, les patients s'assoient sur une chaise pour 30 min de récupération.

Modalités de récupération :

	<ul style="list-style-type: none"> - ENSM: appareil Veinoplus de basse fréquence. 3 sessions distinctes : 1^{ère} session en guise de session de contrôle, 3^{ème} session avec l'appareil Veinoplus. Tests isocinétiques des deux chevilles en guise d'indicateur de performance, à 15 min et à 30 min de récupération. - Bas de compression : utilisés à la 2nde session. <p><u>Comparaison</u></p> <p>Vêtements de compression versus ESNM versus groupe contrôle.</p> <p><u>Outcome</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - FC monitorée pendant l'exercice de 30 min à 85% du seuil anaérobie. - Lactatémie : valeurs à 0min, 3min, 5 min, 15 min, et 30 min pendant la récupération de 30 min. - Tests : 1^{er} protocole isocinétique sur la cheville droite pendant la récupération de 15 min, et 2nd protocole isocinétique sur la cheville gauche pendant la récupération de 30 min. - Le même protocole est appliqué avant l'exercice à 85% du seuil anaérobie sur tapis de course. - valeurs de $p < 0.1$ jugées ici statistiquement significatives.
Méthodes	<p>Population étudiée (sélection)</p> <p>20 athlètes (âge 15,55 +/- 0,51 ans ; taille 177,7 +/- 9,26 cm ; masse 66,1 +/- 11,15 kg) dont 9 volleyeuses (âge 15,89 +/- 0,33 ans, taille 171,8 +/- 9,52 cm, masse 60,44 +/- 4,97 kg) et 11 volleyeurs (âge 15,27 +/- 0,46 ans ; taille 182,55 +/- 5,75 cm ; masse 70,73 +/- 12,81 kg).</p> <p>Athlètes entraînés au moins depuis 3 ans et ce à raison de 8 h par semaine.</p> <p>Critères d'inclusion/exclusion</p> <p>Capacité veineuse normale et aucun dysfonctionnement artériel, plus généralement, aucun dysfonctionnement cardio-vasculaire.</p> <p>Type d'étude (comparative, prospective, randomisée, cas témoin...)</p> <p>Essai contrôlé randomisé</p>
Résultats	<p>Pas de différence significative de niveau de lactatémie entre le groupe ESNM, le groupe « bas de contention », et le groupe contrôle. Chez les femmes, pas de différence significative sur le couple isocinétique maximal entre le groupe bas de compression et le groupe contrôle.</p> <p>Pour le groupe ESNM, il y a eu une amélioration significative des mesures de flexion plantaire droite ($p < 0.01$), de flexion dorsale droite ($p < 0.1$), de flexion plantaire gauche ($p < 0.1$), comparativement au groupe contrôle.</p> <p>Chez les hommes, le groupe bas de contention a eu une augmentation</p>

	<p>significative de la flexion plantaire gauche par rapport au groupe contrôle ($p < 0.1$) ; et pour l'ESNM, une augmentation significative de la flexion plantaire droite ($p < 0.1$) et de la flexion plantaire gauche ($p < 0.1$) par rapport au groupe contrôle.</p> <p>Les effets des bas de compression et de l'ESNM sur la capacité à générer de la force sur un appareil d'isocinétisme pendant la période de récupération sont statistiquement significatifs comparativement à une récupération passive. En termes de capacité à générer de la force, l'ESNM à 15 min de récupération et les bas de compression à 30 min de récupération étaient davantage statistiquement significatifs.</p>
--	---

<p>Discussion</p>	<p><u>Discussion</u></p> <p>Il a été montré qu'il existait une relation aigue entre métabolisme des lactates et performance à l'exercice. La capacité de travail et la performance sont négativement affectées par des niveaux élevés de lactates (Bangsbo et al. 1996 ; Klausen et al, 1972 ; Stamford et al, 1978). Les conclusions de recherches précédentes sur l'impact de différents protocoles sur l'élimination des lactates après un exercice maximal ont affirmé que la récupération active était la manière la plus efficace pour aider à l'élimination des lactates.</p> <p>Les diminutions de lactatémie observées dans le groupe ESNM et le groupe bas de compression ne sont pas significatives par rapport au groupe contrôle.</p> <p>Les valeurs les plus faibles de lactatémie sont observées dans le groupe ESNM mais ces différences ne sont pas significatives.</p> <p>Les études comparant les différents délais récupérations post-exercice n'ont montré aucune différence significative sur les niveaux de lactates (Cortis et al 2010 ; Tessitore et al, 2008) On a observé pour l'ESNM et la récupération active plus d'effets positifs sur la lactatémie que pour la récupération passive (Heyman et al, 2009. Neric et al, 2009) Dans notre étude, les lactatémies les plus élevées à la 15^{ème} minute de récupération après un effort aérobie de 30 minutes apparaissent dans le cadre du groupe contrôle. <u>Même si les lactatémies étaient jugés pour être plus faibles avec les compressions, et plus élevées avec l'application d'ESNM, ces différences sont significatives statistiquement.</u></p> <p>La 2^{ème} paramètre de performance de notre étude est la force isocinétique : chez les femmes, à la 15^{ème} minute de récupération post-application d'ESNM, nous avons déterminé une augmentation significative de la force maximale des fléchisseurs plantaires droits par rapport au groupe</p>
--------------------------	--

contrôle. De la même façon, à la 15^{ème} minute de récupération, on détermine une augmentation significative de la force maximale pour les fléchisseurs dorsaux. **Pas de variation significative de la force max des fléchisseurs plantaires et dorsaux droits avec le groupe compression.**

La valeur maximale de la force des fléchisseurs plantaires gauches n'est PAS significativement plus grande à 30 min de récupération dans le groupe compression par rapport au groupe contrôle.

Pour les fléchisseurs plantaires droits à 15 min de récupération, la force maximale était significativement augmentée avec l'ESNM par rapport au groupe contrôle.

Pour les fléchisseurs plantaires gauches à 30 min de récupération, la force maximale était significativement augmentée pour les groupes compression et ESNM versus groupe contrôle.

Les bas de compression utilisés avant, pendant, et après l'effort n'ont pas montré d'effet sur la lactatémie et sur la force au cours des 30 premières minutes de récupération (Duffield et al, 2008 ; Duffield et al, 2010 ; Maton et al, 2006). Dans les études ayant évalué les effets des bas de compression sur la fatigue musculaire et sur la force musculaire concentrique, les bas de compression ont permis d'atténuer la baisse de force concentrique et d'atténuer la fatigue, versus groupe contrôle.

Dans le processus de récupération, la récupération passive, active (effort à 50% de la capacité aérobie) et les effets de l'ESNM ont été comparés les uns aux autres. Quand les MVC des extenseurs de genou étaient comparées entre elles, il était constaté que l'ESNM conduisait à une meilleure intensité de contraction, sans différence significative cependant ! Dans notre étude, dans le cadre de l'ESNM durant 30 min de récupération après 30 min d'exercice aérobie, nous avons comparé les forces isocinétiques du groupe contrôle à 15 min de récupération sur la cheville droite. Nous avons identifié des augmentations significatives de la force isocinétique des fléchisseurs plantaires droits, fléchisseurs dorsaux droits, fléchisseurs plantaires gauches chez les femmes ayant été traitées par ESNM versus groupe contrôle. Pour les hommes ayant été traités par ESNM, nous avons identifié des augmentations significatives pour la force isocinétique des fléchisseurs plantaires droits et gauches comparativement au groupe contrôle.

Quand nous comparons les résultats obtenus dans notre étude à ceux obtenus dans des études précédentes, nous considérons l'ESNM comme une méthode de récupération alternative.

En résumé, aucun bénéfice sur les lactates pour l'ESNM et le groupe compression versus groupe contrôle. **En revanche, en comparaison avec le groupe contrôle, les effets de l'ESNM et des bas de compression sur la force générée pendant la récupération sont statistiquement significatifs. Si nous considérons les faibles niveaux de lactates à la 15^{ème} minute de**

	<p><u>récupération, surtout pour le groupe ESNM, alors appliquer de l'ESNM pendant la mi-temps d'activités comme le football, le basketball semble intéressant. De plus amples études sont nécessaires pour évaluer l'efficacité des vêtements de compression et de l'électrostimulation sur la période de récupération.</u></p>
	<p>Réponse à la question annoncée</p> <p>Utiliser l'appareil d'ESNM Firefly comme une modalité de récupération à court terme (30 min) n'a pas permis une accélération de la clairance des lactates, ni de changement de performance cycliste anaérobie, comparativement à une récupération passive.</p>
	<p>Conclusion</p> <p>Utiliser l'appareil d'ESNM Firefly comme une modalité de récupération à court terme (30 min) n'a pas permis une accélération de la clairance des lactates, ni de changement de performance cycliste anaérobie, comparativement à une récupération passive</p>
<p>Forme de l'article</p>	<p>IMRAD</p> <p>Oui</p> <p>Niveau de preuve selon HAS</p> <p>Grade B, preuve 2.</p>

Efficacité de l'électrostimulation neuromusculaire (ESNM) à visée de récupération post-effort chez le sportif professionnel et amateur

Introduction

Dans les sports individuels et collectifs, les compétitions fréquentes et la recherche permanente de gains de performance conduisent les entraîneurs à poursuivre la recherche de stratégies de récupération efficaces. L'objectif de ce travail est d'évaluer l'efficacité comparée de l'électrostimulation neuromusculaire sur différents critères de récupération à moyen et long terme chez le sportif professionnel et amateur. Notre hypothèse de travail repose d'une part sur l'impact de l'ESNM sur la clairance des métabolites de l'effort par les contractions musculaires engendrées ; et d'autre part sur la relation entre une clairance facilitée et la récupération de la performance physique.

Méthode

Nous avons exploré les bases de données MEDLINE, SportDiscuss, Web of Science, PEDro, et les sources Google Scholar, ScienceDirect, entre le 08 mars 2012 et le 31 mars 2020. Etaient incluses les études dont les protocoles utilisaient l'ESNM, i.e. à une intensité de stimulation dépassant le seuil moteur, excluant tout protocole antalgique. L'ESNM devait être comparée au minimum à la récupération passive, ne devait pas être associée à d'autres techniques de physiothérapie. Les sujets étaient sportif professionnels et amateurs pratiquants, sans blessure, âgés de 15 ans au moins. Treize études ont satisfait les critères d'inclusion, dont 3 essais contrôlés randomisés parallèles, 8 essais contrôlés randomisés croisés, et 2 essais non randomisés contrôlés croisés.

Résultats

Trois études - dont deux de qualité méthodologique moyenne - ont conclu à des effets positifs significatifs ou non de l'ESNM sur la clairance des lactates versus récupération passive, dont une étude versus récupération passive et active. Une étude de bonne qualité a trouvé un effet positif sur la clairance des CK versus récupération passive. Quatre études ont trouvé un effet positif significatif ou non sur la récupération perceptuelle versus récupération passive. Cinq études ont un trouvé un effet positif significatif ou non sur la récupération de la performance.

Conclusion

Bien que des bénéfices soient suggérés sur les marqueurs biologiques, perceptuels et de performance versus récupération passive, les preuves manquent, et aucun bénéfice clair n'est établi versus récupération active. Nous conseillons l'ESNM quand la logistique ou le temps ne permettent pas une récupération active, et selon les préférences du sportif.

Mots clefs : électrostimulation neuromusculaire – performance – récupération - sport

Efficacy of neuromuscular electrostimulation (NMES) for post-exercise recovery in professional and amateur sportsmen and women

Background

In individual and team sports, frequent competition and the constant search for performance gains lead coaches to continue the search for effective recovery strategies. With this work, we are aiming to evaluate the comparative effectiveness of neuromuscular electrostimulation on different medium and long-term recovery criteria in professional and amateur sportsmen and women. Our hypothesis is, on the one hand, there is an impact of NMES on the clearance of metabolites by the muscular contractions it generates, and on the other hand, there is a relationship between facilitated clearance of metabolites and the recovery of physical performance.

Method

We searched MEDLINE, SportDiscuss, Web of Science, and PEDro databases, plus Google Scholar and ScienceDirect sources between between March 08, 2012 and March 31, 2020. Studies whose protocols used NMES, i.e. at a stimulation intensity above the motor threshold, excluding any analgesic protocol, were included for analysis. NMES had to be compared at least to passive recovery, but was not to be combined with other physiotherapy techniques. Subjects were professional and active recreational athletes, without injury, at least aged 15 years old. Thirteen studies met the inclusion criteria, including 3 parallel randomized controlled trials, 8 randomized crossover controlled trials, and 2 non-randomized crossover controlled trials.

Results

Three studies - two of which were of average methodological quality - concluded that NMES had significant positive or non-significant positive effects on the clearance of lactates versus passive recovery, including one study versus passive and active recovery. A good quality study found a positive effect on CK clearance versus passive recovery. Four studies found a significant or non-significant positive effect on perceptual data, compared to passive recovery. Five studies found a significant or non-significant positive effect on performance recovery.

Conclusion

Although benefits are suggested on biological, perceptual, and performance markers compared to passive recovery, evidence is still lacking. Besides, no clear benefit is established versus active recovery. We advise the use of NMES when material conditions or time at disposal do not allow an active recovery, and according to the preferences of the athlete.

Keywords : neuromuscular electrical stimulation – performance – recovery - sport

