



EFFETS DE LA PHOTOBIMODULATION SUR LA RÉCUPÉRATION SPORTIVE CHEZ LES ATHLÈTES

SABINE REY

Étudiante Bachelor – Filière Physiothérapie

XAVIER FLURI

Étudiant Bachelor – Filière Physiothérapie

Directeur de travail : VITO PORTUESI

**TRAVAIL DE BACHELOR DÉPOSÉ ET SOUTENU A LAUSANNE EN 2019 EN VUE DE
L'OBTENTION D'UN BACHELOR OF SCIENCE HES-SO EN PHYSIOTHÉRAPIE**

**Haute Ecole de Santé Vaud
Filière Physiothérapie**

RÉSUMÉ

Introduction : le temps de récupération a toute son importance dans la planification des entraînements des athlètes afin d'améliorer leur performance et d'éviter un surentraînement. La photobiomodulation, technologie se basant sur l'utilisation de sources lumineuses monochromatiques à une longueur d'onde et une puissance spécifique, induisant des mécanismes biologiques ciblés, serait un moyen utile pour l'améliorer.

Objectif : les objectifs de cette revue de la littérature sont d'évaluer l'efficacité d'une séance de photobiomodulation, appliquée en prévention à un effort physique, sur la récupération des athlètes effectuant des compétitions et, si possible, d'élaborer des recommandations pour la pratique des physiothérapeutes.

Méthode : une recherche documentaire a été effectuée dans les bases de données Cinhal, Pubmed, PEDro, Cochrane Library entre septembre 2018 et mars 2019. Les articles devaient évaluer la récupération sportive par le biais de la mesure des DOMS à l'aide de l'EVA ou de l'algomètre à pression, par les taux sanguins des marqueurs biologiques des lésions musculaires (CK) et de l'inflammation (CRP, IL-6) ou par la fatigue physique à l'aide de la mesure de la MIVC.

Résultats : cinq articles ont été sélectionnés. Quatre de ceux-ci ont démontré une amélioration significative de la récupération suite à la séance de photobiomodulation.

Discussion : les résultats démontrent globalement une amélioration de la récupération sportive. Certains paramètres sont toutefois à adapter à l'effort sélectionné, aux spécificités de la discipline sportive et à la population visée.

Conclusion : une séance de photobiomodulation, effectuée en prévention avec les paramètres sélectionnés dans cette revue, permet d'améliorer la récupération des athlètes.

Mots-clés : athlètes, photobiomodulation, récupération, sport, fatigue, delayed onset muscle soreness, marqueurs biologiques.

AVERTISSEMENT

Les prises de position, la rédaction et les conclusions de ce travail n'engagent que la responsabilité de ses auteurs et en aucun cas celle de la Haute Ecole de Santé Vaud, du Jury ou du Directeur du Travail de Bachelor.

Nous attestons avoir réalisé seuls le présent travail, sans avoir utilisé d'autres sources que celles indiquées dans la liste de références.

Lausanne, le 7 juin 2019.

Sabine Rey et Xavier Fluri

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier les personnes citées ci-dessous pour l'aide et leur soutien apportés durant la réalisation de notre travail de Bachelor :

Monsieur Vito Portuesi, enseignant à HESAV et directeur de Travail de Bachelor pour ses précieux conseils, ses remarques avisées et sa disponibilité tout au long de ce travail.

Nos camarades de classe et leurs directeurs de travail de Bachelor pour leur écoute et leurs critiques constructives lors des séminaires.

Les cabinets, les médecins et les promoteurs et revendeurs de matériel de photobiomodulation pour le temps accordé à répondre à nos questions.

Sylvie Rey, Aude Hilscher, Aline Hilscher et Dan Abatantuono pour la relecture de notre travail de Bachelor.

Nos proches pour leur soutien et leurs encouragements.

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION	1
2.	CADRE THÉORIQUE	2
2.1	Athlète	2
2.2	Effort physique	2
2.2.1	Anatomie et physiologie	2
2.2.2	Types d'effort physique	3
2.3	Conséquences d'un effort de haute intensité	3
2.3.1	Delayed onset muscle soreness	3
2.3.2	Modification de l'activité des marqueurs biologiques	4
2.3.2.1	Créatinine kinase	4
2.3.2.2	Protéine C-réactive	4
2.3.2.3	Interleukine 6	5
2.3.2.4	Lactate	5
2.3.3	Fatigue physique	6
2.3.3.1	Fatigue centrale	6
2.3.3.2	Fatigue périphérique	6
2.4	Récupération sportive	7
2.5	Photobiomodulation	8
2.5.1	Définition	8
2.5.2	Histoire	9
2.5.3	Mécanismes d'action	10
2.5.4	Paramètres	11
2.5.5	Utilisation dans le milieu sportif	11
2.5.6	Utilisation dans le monde	12
3.	PROBLÉMATIQUE	12
4.	MÉTHODOLOGIE	13
4.1	Stratégie de recherche	13
4.2	Sélection des articles	14
4.2.1	Critères d'éligibilité de la forme des articles	14
4.2.2	Critères d'inclusion et d'exclusion	14
4.2.2.1	Choix de la population	15
4.2.2.2	Choix de l'intervention	16
4.2.2.3	Choix de l'effort physique	17
4.2.2.4	Choix des outils de mesure	17
4.3	Étapes de la sélection des articles	18
4.4	Evaluation de la qualité des études	18
4.5	Méthode d'extraction des données	19
5.	RÉSULTATS	19
5.1	Résultats de la recherche d'articles	19
5.2	Description des articles	20
5.2.1	Population	21
5.2.2	Intervention	22
5.2.3	Effort physique	24
5.2.3.1	Contractions excentriques du quadriceps	24
5.2.3.2	Wingate test	24
5.2.3.3	Contractions concentriques du biceps	24
5.2.4	Résultats de la récupération sportive	24
5.2.4.1	Résultats de la mesure des DOMS par l'EVA et par l'algomètre à pression	24
5.2.4.2	Résultats de la mesure des taux sanguins des marqueurs biologiques	25
5.2.4.2.1	Créatine Kinase	25
5.2.4.2.2	Protéine C-Réactive	25
5.2.4.2.2	Interleukine 6	26
5.2.4.3	Résultats de la mesure de la fatigue par la MIVC	26

5.3	Evaluation de la qualité des articles	27
6.	DISCUSSION	28
6.1	Interprétation des résultats	28
6.2	Mise en regard avec la littérature	30
6.3	Qualité et biais des études	31
6.3.1	Description globale de l'étude	31
6.3.2	Population	31
6.3.3	Intervention	32
6.3.4	Outils de mesure et outcomes	33
6.3.5	Méthode d'analyse	35
6.4	Limites de la revue	35
6.4.1	Stratégie de recherche	35
6.4.2	Sélection des articles	35
6.4.3	Sélection de la grille de qualité	36
6.5	Implication et recommandations pour la pratique	36
6.5.1	Photobiomodulation et dopage	37
6.6	Pistes pour les recherches futures	38
7.	CONCLUSION	38
	LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX	39
	LISTE DE RÉFÉRENCES	40
	ANNEXES	49

LISTE DES ABREVIATIONS

ADP :	Adénosine diphosphate
AmA :	Agence mondiale antidopage
ATP :	Adénosine triphosphate
CK :	Créatinine kinase
Cm :	Centimètre
Cm ² :	Centimètre carré
Cox :	Cytochrome c-oxidase
CRP :	Protéine C-réactive (<i>C-reactive protein</i>)
DOMS :	Douleurs musculaires d'apparition retardée (<i>Delayed onset muscle soreness</i>)
EVA :	Echelle visuelle analogique
H :	Heure
IL-6 :	Interleukine 6
IMC :	Indice de masse corporelle
J :	Joule
Kg :	Kilogramme
Laser :	Amplificateurs de lumière par émission stimulée de rayonnement (<i>Light amplification by stimulation of emitted radiation</i>)
LED :	Diode électroluminescente (<i>Light-emitting diode</i>)
LLLT :	Photobiomodulation (<i>Low Level Laser Therapy</i>)
MCT :	Protéines transporteurs du monocarboxylates (<i>monocarboxylate transport protein</i>)
Mg/l :	Milligramme par litre
Min :	Minute
MIVC :	Contraction volontaire isométrique maximale (<i>Maximum isometric voluntary contraction</i>)
MW :	Milliwatt
Nm :	Nanomètre
NO :	Oxyde nitrique
PBMT :	Photobiomodulation (<i>Photobiomodulation therapy</i>)
PH :	Potentiel hydrogène
RCT :	Essai randomisé contrôlé (<i>Randomized controlled trial</i>)
Rpm :	Tours par minute (<i>Revolution per minute</i>)
S :	Seconde
U/l :	Unité enzymatique par litre
VI :	Validité interne
VE :	Validité externe

1. INTRODUCTION

Les performances physiques des athlètes de haut niveau peuvent être influencées par plusieurs facteurs, tels qu'une alimentation adaptée, un bon encadrement médical ou encore des entraînements de qualité (El Helou, 2011). Il est effectivement admis qu'un entraînement comportant une charge suffisamment importante peut mener à l'amélioration de la performance (Gremion & Kuntzer, 2014). Cependant, il faut également prendre en compte la gestion de la fréquence d'entraînement. En effet, il est nécessaire que ceux-ci soient accompagnés d'un temps de récupération suffisant afin d'éviter à l'athlète de se retrouver dans un état de surentraînement (Halson & Jeukendrup, 2004). De ce fait, si la récupération était améliorée, les athlètes pourraient supporter des charges d'entraînements élevées, nécessaires à l'augmentation de la performance, sans pour autant mener à l'apparition des conséquences négatives du surentraînement (Bishop, Jones, & Woods, 2008).

Plusieurs moyens de récupération sont déjà régulièrement utilisés par les athlètes dans le but de moduler l'auto-récupération du corps humain, en l'accéléralant ou en la rendant plus efficace (Minett & Costello, 2015). Nous pouvons, par exemple, nommer la cryothérapie, les étirements, l'électrothérapie ou encore le massage. Cependant, la littérature scientifique est encore très controversée sur ces différents moyens (Dupuy, Douzi, Theurot, Bosquet, & Dugué, 2018 ; Saliou, 2017).

La photobiomodulation (PBMT) est un nouveau moyen de récupération qui commence à faire son apparition dans le milieu sportif suisse. Son principe se base sur l'utilisation de sources lumineuses monochromatiques (amplificateur de lumière par émission stimulée de rayonnement (laser) ou diode électroluminescente (LED)) à une longueur d'onde et une puissance spécifique afin d'induire des mécanismes biologiques ciblés. Son action permet d'augmenter le métabolisme énergétique, de protéger le corps contre l'inflammation présente après un effort intense et d'améliorer la réparation des dommages musculaires (Ferraresi, Hamblin, & Parizotto, 2012).

Préventive et curative, cette nouvelle technologie non-invasive semblerait donc prometteuse. Plusieurs revues de la littérature ont déjà mis en avant son efficacité possible pour améliorer la performance et diminuer la fatigue physique (Borsa, Larkin, & True, 2013 ; Ferraresi, Huang, & Hamblin, 2016 ; Leal Junior et al., 2015 ; Vanin, Verhagen, Barboza, Costa, & Leal Junior, 2018). Cependant, celles-ci se basent sur des populations très hétérogènes, composées de participants tant entraînés que sédentaires. Elles mélangent plusieurs paramètres différents et ont des applications de PBMT variées (avant, en préventif et après, en curatif). Celles-ci donnent ainsi, la plupart du temps, des résultats qui restent très controversés.

Suite à son apparition en Suisse, il nous semble important d'évaluer la qualité de cette technique de récupération, utilisée de manière préventive, pour améliorer la récupération des athlètes suite à un entraînement intensif et ainsi permettre un retour rapide à la compétition.

2. CADRE THÉORIQUE

2.1 Athlète

La définition d'un athlète peut être interprétée de plusieurs manières. Dans cette revue, il a été décidé de se baser sur la définition de Swiss Olympic. Selon eux, « un athlète se différencie du sportif dans la mesure où il poursuit un objectif clair et s'entraîne de manière intensive et axée sur la performance pour atteindre cet objectif » (Grandjean, Gublin, & Bürgi, 2016, p.17). En Suisse, différents seuils sont ensuite définis suivant le niveau de compétition (régional, national, international) (Grandjean et al., 2016). Intrinsèquement, la compétition serait donc une composante essentielle de « l'athlète » tel que nous le considérerons dans ce travail.

2.2 Effort physique

2.2.1 Anatomie et physiologie

Les muscles sont composés de fibres musculaires comprenant elles-mêmes des myofibrilles. Ce sont ces myofibrilles qui contiennent les structures contractiles du muscle : les sarcomères (Marieb & Hoehn, 2015). Lorsque les fibres sont stimulées, des ponts à haute énergie entre l'actine et la myosine, deux molécules arrangées en formation à l'intérieur du sarcomère, se forment, puis se dissocient, créant la base de la contraction musculaire (Doutreloux, 2015). Pour son bon fonctionnement, ce phénomène nécessite des molécules d'adénosine triphosphate (ATP). Cependant, une cellule musculaire ne possède qu'un faible stock d'ATP (Doutreloux, 2015). Le corps pallie cette maigre réserve grâce à trois systèmes de provision d'énergie distincts (Marieb & Hoehn, 2015) :

- **La filière anaérobie alactique** : au début d'un effort intense, le muscle va utiliser l'ATP ainsi que la créatine phosphate qu'il possède. Ce système n'utilise pas d'oxygène et permet un apport d'énergie rapide, mais d'une courte durée.
- **La filière anaérobie lactique** : sans employer d'oxygène, cette filière utilise la glycolyse, processus par lequel le glucose est segmenté en acide pyruvique et libère ainsi de l'énergie. L'acide pyruvique est ensuite transformé en acide lactique. Ce processus est principalement utilisé pendant les efforts demandant une activité musculaire soutenue mais brève.
- **La filière aérobie** : lors des efforts de longue durée, l'oxygène est nécessaire afin de synthétiser l'ATP via l'oxydation des glucides mais également des lipides. Ce processus, nommé respiration cellulaire, produit une grande quantité d'ATP, mais reste très lent.

Le taux de contribution respectif de chaque filière est régulé par les caractéristiques de l'effort afin de permettre aux muscles une contraction idéale et harmonisée dans le temps (Marieb & Hoehn, 2015).

2.2.2 Types d'effort physique

Il y a différents types d'efforts physiques, qui mènent chacun à des adaptations structurelles et fonctionnelles (Weineck, 1992).

En endurance, les efforts de longue durée ont tendance à utiliser principalement la filière aérobie, ce qui stimule l'augmentation de la densité mitochondriale au sein des fibres musculaires (Adhihetty, Irrcher, Joseph, Ljubicic, & Hood, 2003), majorant ainsi la production d'ATP (Terjung, 1995). Cette augmentation permet d'atténuer les signaux menant à une accélération du métabolisme lors d'un effort intense, provoquant ainsi un ralentissement de la dégradation des glucides (Terjung, 1995). De plus, ce type d'exercice entraîne l'augmentation de la proportion des fibres de type I (lente) et de la capillarité. Cette dernière a lieu principalement au niveau des fibres de type IIb (très rapides mais fatigables), qui ont, à l'origine, une capillarité plus faible que les fibres de type I et IIa (rapides et peu fatigables) (Terjung, 1995).

Les entraînements de force utilisent principalement les filières anaérobies. Ils provoquent une hypertrophie du muscle due à une augmentation du volume myofibrillaire, principalement au sein des fibres de type II. Il y a également transition des fibres de type I en type II (Marieb & Hoehn, 2015).

2.3 Conséquences d'un effort de haute intensité

2.3.1 Delayed onset muscle soreness

Lors d'un effort, les contractions musculaires peuvent créer des microlésions au niveau des muscles. Celles-ci surviennent le plus souvent lors de contractions excentriques couplées à un effort intensif, répétitif ou inhabituel (Clarkson & Hubal, 2002 ; Paulsen, Mikkelsen, Raastad, & Peake, 2012).

Ces microlésions, appelées Delayed Onset Muscle Soreness (DOMS), douleurs musculaires d'apparitions retardées ou encore « courbatures » dans le langage courant, sont réversibles et font parties du stade 1B de la classification de Munich (2012) (Mueller-Wohlfahrt et al., 2013). Ces micro-déchirures se retrouvent au niveau des myocytes, provoquant ainsi une désorganisation de certains sarcomères (Fridén, Kjörrell, & Thornell, 1984). Suite à ces microlésions, un processus inflammatoire se met en place dans le but de les réparer (Clarkson & Hubal, 2002).

Ces microlésions sont accompagnées de douleurs diffuses et latentes, qui apparaissent généralement 12 à 24 heures (h) après l'effort et peuvent persister deux à cinq jours. Elle sont présentes tant au repos que lors de contractions musculaires et d'étirements passifs (Coudreuse, Dupont, & Nicol, 2007). On observe également une diminution de la force musculaire, principalement due à une altération transitoire de la fonction neuromusculaire (Edwards, Hill, Jones, & Merton, 1977), persistant de deux à dix jours de plus que les douleurs (Coudreuse et al., 2007). Il y a aussi une diminution de la mobilité articulaire et une altération de la proprioception, augmentant ainsi les risques de lésions musculo-squelettiques (Coudreuse et al., 2007).

2.3.2 Modification de l'activité des marqueurs biologiques

2.3.2.1 Créatinine kinase

La Créatine Kinase (CK) est une enzyme que l'on retrouve dans le cytosol des tissus nécessitant beaucoup d'énergie (Baird, Graham, Baker, & Bickerstaff, 2012). Elle est formée de deux types de sous-unités polypeptidiques, M et B, permettant ainsi la formation de trois isoenzymes spécifiques : CK-BB, présente dans le cerveau, CK-MB, localisée dans le muscle cardiaque, et enfin CK-MM, utilisée par les muscles squelettiques (Baird et al., 2012). La CK-MM sert, lors d'un effort physique, à transférer le radical phosphore de la phosphocréatine vers l'adénosine diphosphate (ADP) pour la convertir en ATP (Marieb & Hoehn, 2015). On retrouve ainsi une forte concentration de CK-MM au sein des muscles, afin d'assurer son rôle de production et de maintien des réserves énergétiques (Baird et al., 2012).

Lors des microlésions cellulaires, la CK-MM se retrouve libérée dans le sang suite à une lyse membranaire (Totsuka, Nakaji, Suzuki, Sugawara, & Sato, 2002). Le taux de CK-MM dans le sang est un indicateur important des lésions musculaires (Kristjansson et al., 2016), et ainsi parallèlement de la récupération sportive. Cette hyperCKémie dure entre 48 h et 72 h après l'effort et retourne à un niveau de base après sept jours environ (Baird et al., 2012).

Les normes de concentration de CK-MM dans le sang varient considérablement en fonction du sexe, de l'âge ou de l'ethnie (Biomnis, 2012). La masse musculaire et l'entraînement effectué par les athlètes peuvent également l'influencer (Fallon, Sivyer, Sivyer, & Dare, 1999). Il existe toutefois des fourchettes de référence en fonction de l'âge et du sexe de la personne. Chez les hommes adultes, la norme varie entre 20 et 200 unité enzymatique par litre (U/l) (Biomnis, 2012). Cependant, il faut être attentif que l'hyperCKémie peut être provoquée également par la prise de certains médicaments (Maulucci, Tsouni, & Kuntzer, 2015).

2.3.2.2 Protéine C-réactive

La protéine C-réactive (CRP) se trouve au sein du plasma sanguin (Black, Kushner, & Samols, 2004), à une concentration d'environ 0.8 milligramme par litre (mg/l) (Vigushin, Pepys, & Hawkins, 1993). Lors d'un état inflammatoire, causé par exemple par des exercices de haute intensité, cette concentration va rapidement augmenter (Black et al., 2004). La CRP a un temps de demi-vie de 19 h, ce qui correspond à un temps plutôt bas par rapport aux autres protéines du plasma sanguin (Vigushin et al., 1993). La CRP permet ainsi de signaler un état inflammatoire aigu (Teixeira et al., 2015). Son relâchement pourrait être dû au stress infligé aux cellules musculaires par l'intensité élevée des exercices (Vella et al., 2012). Cette dernière est donc déterminante dans l'altération du taux de CRP dans le plasma sanguin (Teixeira et al., 2015). L'utilisation de la CRP est moins sensible que la CK. Pris séparément, ce dernier n'est donc pas fiable. Une combinaison des différents marqueurs biologiques ainsi qu'une évaluation des

DOMS semble ainsi pertinente pour l'évaluation de la récupération des athlètes (Wiewelhove et al., 2015).

2.3.2.3 Interleukine 6

L'Interleukine 6 (IL-6) est une cytokine, c'est-à-dire un médiateur chimique se trouvant dans le sang. Ces cytokines ont un rôle sur la différenciation des cellules et sur la fonction immunitaire (Marieb & Hoehn, 2015). L'IL-6, spécifiquement, joue un rôle important de régulation de la fonction immunitaire et de modulation du processus inflammatoire (Biffi, Moore, Moore, & Peterson, 1996). Elle est considérée comme un marqueur de l'inflammation (Pape et al., 2001). Lors de traumatismes mécaniques, plusieurs cellules sécrètent des IL-6 (Kishimoto, 1989). Elles activent ensuite les cellules du foie afin que ces dernières produisent les protéines de la phase aiguë de l'inflammation, telle la CRP (Heinrich, Castell, & Andus, 1990). Le taux d'IL-6 augmente proportionnellement à la sévérité de l'inflammation et des dommages tissulaires (Biffi et al., 1996 ; Cruickshank, Fraser, Burns, Van Damme, & Shenkin, 1990). Lors de pratique sportive, l'inflammation créée par les DOMS augmente le taux d'IL-6. En effet, les études de Bishop, Gleeson, Nicholas, & Ali (2002) et de Romagnoli et al. (2016) ont démontré une augmentation du taux d'IL-6 suite à des matchs de football.

2.3.2.4 Lactate

Les théories traditionnelles de la fatigue musculaire et de la limitation de la performance ont, pendant de nombreuses années, désigné le lactate comme coupable. Elles affirmaient que l'augmentation de la concentration d'acide lactique, présente lors de l'activation de la filière anaérobie lactique, provoquait une acidose métabolique. Cette diminution du potentiel hydrogène (pH) était pensée comme menant à une fatigue musculaire pouvant provoquer l'arrêt de l'activité. L'acide lactique était également accusé de provoquer une sensation inconfortable, semblable à une brûlure, lors d'efforts intenses et de favoriser la survenue des DOMS (Hall, Rajasekaran, Thomsen, & Peterson, 2016). Cependant, les nouvelles études ont démontré que les effets négatifs de cette acidification ont uniquement une répercussion mineure sur la force et la fatigue musculaire (Pedersen, Clausen, & Nielsen, 2003 ; Sesboüé & Guinestre, 2006).

Si la production glycolytique du lactate est effectivement associée à la production d'un ion d'hydrogène acide, la modification du pH ne semble pas avoir uniquement des effets négatifs. En réalité, elle aurait plutôt un effet bénéfique sur le travail musculaire (Hall et al., 2016). En effet, le lactate a été démontré comme étant une source énergétique importante plutôt qu'un déchet métabolique (Gladden, 2004). Il peut être transporté hors de la cellule musculaire par les protéines transporteuses du monocarboxylates (MCT) vers le plasma sanguin pour être utilisé comme source énergétique par les autres muscles squelettiques (Hall et al., 2016). La dégradation du lactate est rapide. L'étude de Menzies et al. (2010) a démontré une diminution spontanée de quasiment la totalité du lactate dans le sang en 30 minutes

(min) après l'effort. Dû à ce temps de vie réduit et à ses propriétés bénéfiques, la lactatémie ne peut être utilisée comme un marqueur biologique de la récupération et n'a ainsi pas été incluse dans cette revue.

2.3.3 Fatigue physique

Les entraînements des athlètes mènent régulièrement à l'apparition d'une fatigue, qui est considéré comme un processus normal (Gremion & Kuntzer, 2014). La plupart du temps, cette dernière se caractérise par une diminution de la force maximale et par une réponse contractile du muscle retardée (Sesboüé & Guincestre, 2006). La plupart du temps, elle s'estompe 48 h après l'effort (Gremion & Kuntzer, 2014). Cependant, elle peut se prolonger, se caractérisant, cette fois-ci, par la diminution de performance et par des dommages musculo-squelettiques ou des manifestations psychosomatiques (Gremion & Kuntzer, 2014). Il est possible de différencier deux types de fatigues : la fatigue centrale et la fatigue périphérique (Sesboüé & Guincestre, 2006).

2.3.3.1 Fatigue centrale

Elle correspond aux fatigues touchant les structures se trouvant avant la jonction neuromusculaire, c'est-à-dire les structures extra musculaires qui commandent la contraction volontaire (Boyas & Guével, 2011). Les origines de cette fatigue sont encore mal comprises, cependant plusieurs hypothèses sont étudiées (Boyas & Guével, 2011 ; Sesboüé & Guincestre, 2006). On suppose que la fatigue serait liée à une diminution de l'excitation des motoneurones suite à un changement de taux des neurotransmetteurs (Boyas & Guével, 2011 ; Sesboüé & Guincestre, 2006). Il serait possible, également, que les afférences provenant de la périphérie informent le cortex moteur sur l'état biochimique et la capacité du muscle à effectuer une contraction, et ainsi, en fonction, limiteraient l'excitation des motoneurones. Ce phénomène se nomme « sagesse musculaire » et sert de réflexe protecteur du muscle (Sesboüé & Guincestre, 2006).

2.3.3.2 Fatigue périphérique

La fatigue périphérique correspond aux structures se trouvant au-delà de la jonction neuromusculaire. À nouveau, elle peut venir de plusieurs causes. Premièrement, il est possible que, lors d'une stimulation à haute fréquence, le potassium, qui naturellement, suite à une contraction, sort de la cellule pour repolariser la membrane vers un état de repos, se trouve à une concentration extracellulaire trop élevée. Ce flux important génère une dépolarisation inhabituelle de la membrane musculaire et engendre ainsi un blocage des canaux sodiques, nécessaires pour la production d'un prochain potentiel d'action (Sesboüé & Guincestre, 2006). De plus, il est possible, selon l'étude de Westerblad & Allen (1993) que, suite à une contraction importante, le réticulum sarcoplasmique, qui a pour rôle de libérer le calcium pour induire une contraction, présente une défaillance. D'autres hypothèses sont encore à l'étude pour expliquer ce phénomène (Sesboüé & Guincestre, 2006).

2.4 Récupération sportive

Le rôle principal de la récupération est de contrer toutes les conséquences nommées ci-dessus (Bishop et al., 2008). En effet, il est important que l'athlète laisse à son corps un temps de récupération afin d'éviter le surentraînement, qui aura un impact sur des variables physiologiques, psychologiques, immunologiques, endocriniennes et biochimiques (Gremion & Kuntzer, 2014 ; Urhausen & Kindermann, 2002). Il est possible de distinguer trois types de récupération (Bishop et al., 2008) :

- **Immédiate** : elle se trouve entre chaque contraction. Elle permet de régénérer l'ATP et d'éliminer les produits métaboliques accumulés.
- **A court terme** : elle a lieu entre deux séries d'exercices, entre deux rounds ou entre deux sets, par exemple. Elle est parallèle au restockage de la phosphocréatine dans la cellule.
- **A long terme** : elle correspond au temps de récupération entre deux compétitions ou entraînements.

Ce dernier type de récupération se fait tant au niveau fonctionnel que structurel. La récupération fonctionnelle correspond à la restauration de l'homéostasie au niveau de la fibre musculaire ; et la récupération structurelle correspond, quant à elle, à la guérison des microlésions musculaires et à la diminution du processus inflammatoire (Bishop et al., 2008). Ce temps de récupération dépendra de nombreux paramètres tels que les modalités de l'effort (Bishop et al., 2008) et le type de contraction (Sesboüé & Guincestre, 2006).

En plus de son rôle important de récupération, une périodisation (alternance charge-récupération) régulière et adaptée, accompagnée d'une charge suffisamment importante, peut permettre d'améliorer la performance. Cette notion se nomme la surcompensation (Gremion & Kuntzer, 2014). L'optimisation du temps de récupération pourrait donc permettre d'augmenter la charge d'entraînement et ainsi aboutir à une meilleure performance, sans pour autant mettre l'athlète dans une situation de surentraînement (Bishop et al., 2008). Une importance toute particulière doit ainsi être donnée aux moyens de récupération, afin d'améliorer le temps prescrit aux athlètes pour récupérer. D'après la littérature, les techniques les plus répandues sont les suivantes :

- **Cryothérapie** : la cryothérapie existe sous différentes formes (Saliou, 2017). Selon la méta-analyse de Torres, Ribeiro, Alberto Duarte, & Cabri (2012), elle semblerait être une technique intéressante pour la diminution des douleurs entre 24 h et 48 h après l'effort. Cependant, l'hétérogénéité des protocoles impose une lecture des résultats avec précaution. Concernant les marqueurs biologiques (CRP et CK), un traitement unique ne serait pas suffisant pour avoir un impact dessus (Dupuy et al., 2018).
- **Contrast Water Therapy** : ce moyen, aussi appelée bain écossais, consiste à se baigner alternativement dans de l'eau chaude et de l'eau froide. Dans la méta-analyse de Dupuy et al.

(2018), un léger effet sur les DOMS a été détecté, mais aucun impact sur la perception de la fatigue des sportifs n'a pu être mis en évidence.

- **Électrostimulation** : la méta-analyse de Malone, Blake, & Caulfield (2014) a ressorti un effet bénéfique subjectif sur la récupération, mais aucune preuve objective n'en est ressortie.
- **Vêtements de compression** : porter des habits qui compriment les membres induit un impact positif sur les DOMS et la fatigue perçue. Cependant, les marqueurs biologiques de la récupération, CK, IL-6 et CRP ne sont pas influencés (Dupuy et al., 2018).
- **Massage** : très populaire dans le milieu sportif (Cadiou, 2015), sa notoriété est pourtant fondée sur des critères plus subjectifs comme l'agréabilité et le bien-être (Best, Hunter, Wilcox, & Haq, 2008). La méta-analyse de Poppendieck et al. (2016) a ressorti des effets très faibles et parfois controversés suite à l'évaluation des indicateurs de la récupération.
- **Étirements** : la revue systémique de Herbert, de Noronha, & Kamper (2011) n'a ressorti aucun effet bénéfique cliniquement significatif sur les DOMS ; tout comme celle de Dupuy et al. (2018) sur la fatigue.
- **Récupération active** : effectuer une récupération activement, par exemple par une séance d'exercice de moins de 10 minutes à basse intensité (Gill, 2006), peut avoir une répercussion importante sur les DOMS. Cependant, la fatigue perçue ainsi que les marqueurs biologiques (CK, IL-6 et CRP) ne sont pas influencés par cette technique de récupération (Dupuy et al., 2018). La revue de Barnett (2006) a également ressorti des effets controversés quant à son bénéfice sur le taux de CK, la restauration du taux de glycogène et la performance post-exercice.

La littérature scientifique présente ainsi encore des résultats très controversés sur ces différents moyens.

2.5 Photobiomodulation

2.5.1 Définition

Selon Anders, Lanzafame, & Arany (2015) la photobiomodulation est une forme de thérapie lumineuse qui utilise une forme de source de lumière non-ionisante, incluant des lasers, des LEDs et une large bande de lumière dans le spectre visible et infrarouge. C'est un processus non thermique qui implique des chromophores endogènes suscitant des événements photophysiques [...] et photochimique à une échelle biologique variée. Ce processus aboutit à des résultats thérapeutiques bénéfiques incluant l'immuno-modulation et à la promotion de la cicatrisation et à la régénération des tissus. [traduction libre] (p.184)

En effet, cet appareil comprend des diodes de LED ou de lasers qui seront directement appliqués sur la peau de la personne. Ces diodes produisent une lumière non-ionisante, c'est-à-dire une lumière qui n'est pas assez puissante pour générer des ions chargés positivement ou négativement (Kwan-Hoong, 2003). La PBMT ne possède pas de mécanismes d'action thermiques, ce qui la différencie des autres traitements médicaux utilisant la lumière (Huang, Chen, Carroll, & Hamblin, 2009).

Ce rayon a principalement un effet antalgique, de diminution de la réponse inflammatoire mais également de stimulation à la régénération des tissus lésés (Huang et al., 2009).

Ce moyen de traitement possède une multitude de dénominations: Low Level Laser Therapy (LLLT), Low Level Light Therapy, Low intensity Laser Therapy, Low Power Laser Therapy, Cold Laser, Soft Laser, Photobiostimulation, Light Emitting Diode Therapy, LEDT ou encore Photobiomodulation (Ferraresi et al., 2016). En septembre 2014, la North American Association for Light Therapy ainsi que la World Association for Laser Therapy se sont réunies afin de choisir un terme commun, « la photobiomodulation ». Cette décision a été acceptée dans la database des MeSH, et adoptée dans le thesaurus à partir de novembre 2015 (Anders et al., 2015).

A ce jour, il existe plusieurs modèles de PBMT proposés par les promoteurs, variant au niveau de la taille, allant d'un appareil portable à un appareil fixe, et des paramètres.

2.5.2 Histoire

Les préluces de la PBMT datent de l'antiquité avec l'utilisation du soleil comme photothérapie (Barolet, 2008). Longtemps délaissée par la suite, elle a été redécouverte en 1903 par le physicien danois Niels Ryberg Finsen (Anders et al., 2015 ; Barolet, 2008). Il a pu, dans un premier temps, démontrer l'effet dermatologique des rayons solaires puis, dans un deuxième temps, celui des rayons artificiels (Roelandts, 2005). Cependant, il n'a pu donner d'explication à cet effet, ce qui a placé la thérapie par la lumière dans une médecine hors du courant populaire (Anders et al., 2015).

L'effet bénéfique sur la cicatrisation par le laser a ensuite été mis en avant par le scientifique Endre Mester qui, suite à un projet de traitement de tumeurs chez des rats à l'aide d'un laser à rubis, a pu observer une repousse des poils plus rapide chez les rats traités, signe de bio stimulation (Barolet, 2008). Dès lors, suite à de nombreuses années dans l'ombre, les traitements médicaux utilisant la lumière ont été sujets à de nombreuses études. Ils ont ainsi découvert que l'application des photons sur l'organisme pouvait avoir un effet tant excitateur qu'inhibiteur en fonction des paramètres utilisés (Anders et al., 2015).

Depuis ce jour, la littérature a ressorti tant d'études démontrant des effets positifs que d'études dégageant des effets nuls de la PBMT. Une des raisons principales de ces résultats contradictoires réside dans la multitude de possibilités de paramétrages. En effet, aucun consensus n'a été trouvé quant aux réglages de la source lumineuse, de la longueur d'onde, de la dose, du mode, ou encore du temps d'administration. Ce manque de consensus a participé à la mauvaise image de la PBMT (Hamblin, 2016).

La meilleure compréhension des mécanismes d'action au niveau tissulaire, cellulaire et moléculaire de cette dernière décennie a permis d'améliorer la perception des thérapeutes face à cette technologie (Bjordal, Johnson, Iversen, Aimbire, & Lopes-Martins, 2006 ; Hamblin, 2016).

De nos jours, très utilisée en dermatologie pour ses effets cicatrisants et cosmétiques, elle est également présente en oncologie (Barolet, 2008) ou encore en odontologie (Perrichet, 2013). Elle est, à ce jour, en progression dans une multitude de spécialités médicales (Perrichet, 2013).

2.5.3 Mécanismes d'action

Le mécanisme de la PBMT est comparable à la photosynthèse chez les plantes. En effet, la lumière produite par LED ou par lasers active des réactions photobiochimiques au sein des cellules (Barolet, 2008). La lumière émise est absorbée par des chromophores, molécules présentes au sein des mitochondries et des membranes cellulaires, pour autant que la longueur d'onde et la puissance soit appropriée à leur capacité d'absorption (Barolet, 2008).

Les LEDs sont des semi-conducteurs permettant la conversion de courants électriques en un spectre lumineux, allant des ultraviolets aux infrarouges (de 247 à 1300 nanomètre (nm)) (Barolet, 2008). Le faisceau lumineux qu'ils émettent est non-cohérent, c'est-à-dire, que les ondes lumineuses sont désorganisées les unes par rapport aux autres et qu'elles ne partent pas dans une direction prévisible, produisant ainsi une lumière sur une large zone (Miller, 2016). Ce qui n'est pas le cas des lasers, qui ont, quant à eux, un faisceau cohérent, ce qui signifie qu'il est unique et que la puissance est concentrée en points précis (CEA, 2014).

Les réactions photobiochimiques engendrées sont multiples. Premièrement, elle a une action sur les mitochondries, organites nécessaires pour le métabolisme énergétique, principalement aérobie. Selon plusieurs études, la PBMT stimulerait la mitochondrie à augmenter sa synthèse d'ATP (Barolet, 2008 ; Huang et al., 2009 ; Machado et al., 2017).

Les Cytochromes c-oxidase (Cox), sont les premiers chromophores à répondre aux infrarouges dans nos cellules. Les mitochondries produisent de l'oxyde nitrique (NO) qui, une fois liée à ces Cox, inhibent la respiration cellulaire, notamment chez les cellules stressées. La PBMT pourrait fonctionner en dissociant, via les photons délivrés, les NO des Cox. Ce phénomène renverserait l'inhibition mitochondriale due à l'excès de NO. Grâce à cette dissociation, un influx immédiat d'oxygène et donc une reprise de la respiration cellulaire surviendrait, provoquant ainsi une génération de dérivés réactifs de l'oxygène (DRO), molécules importantes pour le signallement cellulaire (Huang et al., 2009).

Cette action au niveau de la chaîne respiratoire engendre, par la suite, une multitude de réactions basées principalement sur la transmission de signaux entre les cellules (Barolet, 2008).

La PBMT est un modulateur de l'inflammation (Barolet, 2008 ; Huang et al., 2009). Elle aurait un effet sur les médiateurs de celle-ci et augmenterait le niveau de cytokines. Dans le cas où une blessure serait présente, la PBMT permettrait une accélération de la cicatrisation via la prolifération cellulaire, accélérant la formation de tissu de granulation, la synthèse de collagène et la migration des fibroblastes vers le site de la lésion (Barolet, 2008 ; Enwemeka, 1988). Le flux sanguin va augmenter suite à une

exposition au laser. Cette information pourrait également favoriser le processus de cicatrisation (Barolet, 2008) et permettrait un effet antalgique en inhibant les nerfs (Huang et al., 2009).

La PBMT pourrait également prévenir l'apoptose cellulaire et augmenter la néo-vascularisation et l'angiogenèse (Huang et al., 2009). Cependant, les réponses cellulaires ne sont malheureusement pas encore complètement comprises.

2.5.4 Paramètres

Une multitude de paramètres sont modifiables dans la PBMT (Ferraresi et al., 2016) :

- **Longueur d'onde** : il s'agit de la lumière émise par l'appareil. Elle se mesure en nanomètre et est référencée par sa couleur (400-470 nm : bleu, 470-550 nm: vert, 630-700 nm: rouge, 700-1200 nm : infrarouge). Le choix de la longueur se base principalement sur les caractéristiques d'absorption des différents tissus (Barolet, 2008). En général, plus la longueur d'onde est grande, plus elle pourra pénétrer profondément dans le tissu (Barolet, 2008 ; Machado et al., 2017).
- **Mode** : l'irradiation peut être délivrée en continu ou en pulsé (Barolet, 2008).
- **Temps de traitement** : il s'agit du temps d'irradiation du muscle (Barolet, 2008).
- **Moment d'application** : l'irradiation peut être effectuée à différents moments, avant, durant ou après l'exercice physique. Il faut cependant prendre en compte le temps de latence de l'effet désiré (Barolet, 2008).
- **Dose** : elle est mesurée en Joules (J). Un Joule étant égal à la puissance en Watt multiplié par le temps en seconde (s) (Barolet, 2008).
- **Puissance** : elle correspond au niveau d'énergie absorbable (Poitte, 2013). Elle se mesure en Watt (W) et correspond à 1 J/seconde (Barolet, 2008).

Les paramètres additionnels suivants sont également à prendre en compte : la fréquence, le temps entre les différentes sessions, ainsi que le nombre de sessions (Barolet, 2008). Cette liste reste cependant non-exhaustive et discutable.

2.5.5 Utilisation dans le milieu sportif

Ces dernières années, les effets de la PBMT sur la performance des athlètes ont été sujets à un grand intérêt de la part des chercheurs (Machado et al., 2017). L'étude de Lopes-Martins et al. (2006), menée sur des animaux, a ressorti des effets prometteurs de la PBMT comme prévention des lésions musculaires et de l'apoptose cellulaire induite par des efforts physiques, ainsi que sur la performance. Chez les êtres humains, l'utilisation de la PBMT permettrait d'augmenter la performance (Ferraresi et al., 2016 ; Hemmings, Kendall, & Dobson, 2016 ; Lanferdini et al., 2018 ; Pinto et al., 2016), de prévenir l'apparition de microlésions musculaires (Pinto et al., 2016) et de prévenir la fatigue physique (De Marchi, et al., 2017 ; Leal Junior et al., 2015 ; Pinto et al., 2016) sur toute population mélangée (sportive

ou non). Toutefois, les paramètres optimaux ne sont pas encore entièrement compris, et aucun consensus n'a été encore trouvé (Ferraresi et al., 2016 ; Hamblin, 2016).

2.5.6 Utilisation dans le monde

Le Brésil est l'acteur principal dans la recherche sur les effets de la PBMT dans le milieu sportif. Les études sont régulièrement dirigées par Ernesto Cesar Pinto Leal Junior, doctorant en physiothérapie et pionnier dans la recherche des effets des irradiations lumineuses sur les sportifs (Escavador, 2018).

En France, elle est actuellement utilisée par la fédération française de ski et d'athlétisme (Light Motion, n.d.), ainsi que par l'équipe nationale française de football (Life +, n.d.).

En Suisse romande, la PBMT reste encore peu connue. Suite à une recherche préliminaire, il est ressorti que, sur tous les cabinets, centres physiothérapeutiques spécialisés dans le sport et médecins du sport qui ont répondu à notre enquête (17), 24% d'entre eux n'avaient jamais entendu parler de la PBMT et 70% la connaissaient mais ne l'utilisaient pas. Les raisons évoquées pour la non-utilisation de cette technique étaient principalement le manque de connaissance à son sujet (67%). 25% d'entre eux nous ont affirmé spontanément être intéressés par cette revue de la littérature. D'autres raisons, telles qu'un coût trop onéreux ou un manque de facilité de transport de l'appareil, ont été soulignées.

Les 6% restant correspondent à quelques thérapeutes qui ont utilisé la PBMT pour des équipes de basket qui évoluent en LNA, pour une équipe de hockey qui joue en National League ou encore pour un club de football suisse. Un bon retour de la part des joueurs a été recueilli, mais aucun effet n'a été objectivé par les thérapeutes.

Concernant les revendeurs, deux d'entre eux produisent des machines de tailles imposantes, avec des réglages précis et certifiés médicalement grâce aux études qu'ils mènent. Le troisième vend, quant à lui, des boîtiers, transportables et plus accessibles financièrement. Ces trois revendeurs ont commencé à commercialiser ce type de matériel entre 2014 et 2017, ce qui explique peut-être le manque de connaissance actuel des thérapeutes.

3. PROBLÉMATIQUE

Toujours à la recherche de performances plus élevées, une des clés de réussite pour les athlètes de haut niveau réside dans la récupération (Bishop et al., 2008). Un nouveau moyen de récupération prometteur est arrivé sur le marché suisse : la photobiomodulation. En effet, cette technique non-invasive, non-douloureuse et dont aucun effet secondaire n'a, pour l'instant, été démontré (Barolet, 2008) aurait déjà mis en avant son efficacité sur la performance musculaire (Leal Junior et al., 2015). Cette dernière pourrait également être un moyen d'intervention pertinent pour les physiothérapeutes afin de lutter contre les conséquences négatives du surentraînement chez les sportifs. Par ce biais, elle pourrait améliorer le temps de récupération, et par là, améliorer la performance des athlètes.

Dès lors, « *la photobiomodulation, utilisée en amont d'un effort physique, peut-elle améliorer la récupération sportive d'un athlète de haut niveau en ayant un effet positif sur les DOMS, les marqueurs biologiques relatifs à la récupération, ainsi que sur la fatigue physique ?* »

À ce jour, aucune revue de la littérature sur les effets de la PBMT au sujet de la récupération physique d'une population spécifique telle que les athlètes de haut niveau, n'a été réalisée. L'efficacité de cette intervention, en amont d'un effort physique, n'est donc pas clairement établie. C'est pourquoi l'objectif de cette revue est d'effectuer un recensement de la littérature existante afin d'évaluer la pertinence de l'utilisation de la PBMT. Par cette revue, nous espérons, également, si possible, élaborer des recommandations pour la pratique professionnelle des physiothérapeutes, dans le but d'améliorer la prise en charge de cette population.

4. MÉTHODOLOGIE

4.1 Stratégie de recherche

Les recherches d'articles se sont déroulées entre le 24 septembre 2018 et le 22 mars 2019. Les bases de données Cinhal, Pubmed, PEDro et Cochrane Library ont été consultées avec les équations de recherche citées ci-dessous, afin de collecter les articles composant cette revue de la littérature non-systématique (tableau 1). Il a été décidé de définir les mots clés selon la population, l'intervention et les outcomes recherchés, de manière générale. Les opérateurs booléens AND et/ou OR ont été utilisés dans les bases de données et, lorsque celles-ci nous le permettaient, les termes Mesh ont été employés.

Tableau 1 : Equations de recherche

Bases de données	Mesh Terms	Equations de recherche
Cinhal	Phototherapy Athletes Sports Physical Performance Muscle fatigue Recovery, exercise Recovery	(MH “Muscle fatigue” or MH “physical performance” or MH “recovery” or MH “recovery, exercise”) And (MH “Athletes” + or MH “sports” +) And MH “phototherapy”
Pubmed	Low-level light therapy Athletes Sports Recovery of function Athletic Performance Muscle fatigue Fatigue	(“Muscle fatigue”[Mesh] or “athletic performance”[Mesh] or “recovery of function”[Mesh] or “fatigue”[Mesh]) and “low level light therapy”[Mesh] and (“athletes”[Mesh] or “sports”[Mesh])
PEDro	-	Photobiomodulation and athletes and recovery
Cochrane Library	-	Photobiomodulation and athletes and recovery

Suite à cette recherche, une alarme a été installée sur les bases de données qui le permettaient afin de prendre en compte les articles publiés pendant la réalisation de la revue. Par la suite des recherches manuelles ont été entreprises au sein des revues de la littérature et des bibliographies des articles afin d’ étoffer le travail.

4.2 Sélection des articles

4.2.1 Critères d’ éligibilité de la forme des articles

Premièrement, les articles devaient être rédigés en français, en anglais, en espagnol, en italien ou en allemand afin de s’ assurer une bonne compréhension de ceux-ci. Les études devaient être de type quantitatif et de type essai randomisé contrôlé (RCT). En effet, ce type de design correspond à un niveau d’ évidence de degré 2/4 selon Lockwood, Sfetcu, Oh, & Ovid Technologies (2011). Il permet de fournir une revue de la littérature de bonne qualité. Pour terminer, une date limite de publication à 2008 a été décidée car selon De Marchi et al. (2019), le premier RCT traitant de l’ effet de la PBMT chez l’ athlète a été publié en 2008 par Leal Junior.

4.2.2 Critères d’ inclusion et d’ exclusion

Des critères d’ inclusion et d’ exclusion, conformément à notre PICO et à l’ effort physique imposé aux participants, ont été établis.

Tableau 2 : Critères d'inclusion et d'exclusion

PICO	Critères d'inclusion	Critères d'exclusion
Population P	<ul style="list-style-type: none"> ● Athlètes effectuant des compétitions ● Âgés entre 18 et 45 ans 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sportifs amateurs ● Personnes sédentaires ● > 45 ans
Intervention I	<ul style="list-style-type: none"> ● Séance de PBMT réalisée avant l'effort ● Appareil de type laser ● Longueur d'onde entre 750 et 900 nm (infrarouge) ● Puissance entre 100 et 200 milliwatt (mW)/diode ● Application directe sur la peau, en continu 	<ul style="list-style-type: none"> ● Paramètres en dehors de ceux inclus ● Application après l'effort physique
Groupe contrôle C	<ul style="list-style-type: none"> ● Placebo (appareil de PBMT pas allumé) 	
Outcomes O	<ul style="list-style-type: none"> ● DOMS avec un algomètre à pression ou par l'échelle visuelle analogique ● Taux sanguins de créatine kinase (U/l), protéine C-réactive (mg/dl) ou IL-6 (pg/ml) ● Fatigue physique par la mesure de la contraction volontaire isométrique maximale (MIVC) 	
Effort physique	<ul style="list-style-type: none"> ● Effort physique de "haute intensité" entraînant une modification des taux sanguins en CK, en CRP ou en IL-6 par rapport à la mesure initiale ● Effort physique utilisant de manière plus importante la filière aérobie lactique (durée maximum 2 min consécutives) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Effort utilisant la filière aérobie (> 2 min consécutives)

4.2.2.1 Choix de la population

Les participants des études devaient être des athlètes pratiquant des compétitions, conformément à la compréhension de la définition de Grandjean et al. (2016). Ce critère permettait ainsi d'assurer de manière intuitive l'exécution régulière d'efforts physiques de haute intensité. Les fois où cette information n'était pas assez clairement précisée dans l'étude, une prise de contact a eu lieu avec les auteurs pour s'en assurer.

L'âge a également été pris en compte avec une fourchette de 18 à 45 ans, s'expliquant par un besoin d'homogénéité de capacités musculaires des participants, sachant qu'une diminution naturelle de la masse musculaire est observée chez les plus de 45 ans (Tzankoff & Norris, 1977). Ces valeurs restent toutefois approximatives étant donné qu'elle dépend aussi de l'alimentation et de l'activité physique de la personne (Grimby & Saltin, 1983).

4.2.2.2 Choix de l'intervention

Comme vu précédemment, la PBMT possède une variété de paramètres modulables. Plusieurs recherches dans la littérature ont été nécessaires afin d'évaluer les paramètres de la PBMT les plus adéquats pour cette revue.

Laser ou LED

D'après Huang et al. (2009), les lasers, par leur meilleure cohérence, permettrait d'être plus précis que les LEDs. Ainsi, le dosage reçu par le patient serait plus fidèle au dosage paramétré sur l'appareil.

Choix de la longueur d'onde

Afin d'atteindre les tissus profonds, comme les cellules musculaires, une fenêtre d'absorption optimale a été fixée de 600 à 900 nm. En effet, en dessous de 600 nm, la plupart des photons sont absorbés par les globules rouges ; et au-delà de 900 nm, l'absorption sera principalement effectuée par l'eau des tissus. Une longueur d'onde comprise dans le spectre rouge et infrarouge est donc préconisée afin de stimuler les cellules musculaires (Barolet, 2008). Selon Enwemeka (2001), les longueurs d'onde infrarouges (750-1000nm) pénètrent plus profondément que la lumière rouge et sont donc plus efficaces pour les lésions plus profondes telles que les lésions musculaires. La fenêtre optimale est donc entre 750 nm et 900 nm.

Choix de la puissance

Il a été couramment observé qu'en dessous d'une puissance de 4 mW, le seuil de réponse biologique n'était pas atteint et aucun effet ne se produisait (Godlewski, 2004). Ajouté à cela, l'étude de De Oliveira et al. (2017), qui cherchait à départager quelle puissance donne un meilleur effet sur la récupération, a démontré un effet significativement positif pour des puissances de 100 et 200 mW.

Choix de la dose appliquée

Ce paramètre est peu pris en compte car il néglige le fait que l'énergie a deux composantes, la puissance et le temps. La loi de réciprocité qu'elle impliquerait ne fonctionne effectivement pas dans ce cas. Ce paramètre est ainsi décrit comme non fiable (Huang et al., 2009).

Choix du moment, du mode et du temps d'application

Plusieurs auteurs ont démontré que l'application de la PBMT en amont de l'effort physique permettrait une diminution plus rapide de la fatigue et par là, une meilleure récupération (Dos Reis et al., 2014). En ce qui concerne le mode, aucun consensus n'a été trouvé jusqu'à présent quant à la meilleure efficacité d'un mode pulsé ou continu (Barolet, 2008). Cependant, la plupart des études utilisent le mode continu, selon le choix libre des auteurs. Une application avec un contact direct de l'appareil sur la peau permettrait une meilleure atteinte de la cellule visée car il éviterait une interférence due à l'air entre la source et la peau (Godlewski, 2004). Pour terminer, peu d'études ont comparé les différents temps de traitement possibles. La littérature recommande de le choisir en fonction de l'état de la peau et du degré

de l'inflammation présente (Barolet, 2008). Huang et al. (2009) proposerait tout de même un temps d'application d'environ 30 s par point pour que cela soit efficace.

En conclusion, il a été décidé de conserver uniquement les études avec les paramètres suivants : utilisation de laser en contact direct avec la peau, avant l'effort physique, avec une longueur d'onde infrarouge ainsi qu'une puissance se trouvant entre 100 et 200 mW/diode.

4.2.2.3 Choix de l'effort physique

Il a été décidé de fixer une limite de temps de l'effort physique à maximum deux minutes consécutives afin de s'assurer, en suivant la courbe d'Howald, que l'effort utilisait principalement une filière anaérobie (Schmitz, 2013). Il aurait toutefois été souhaitable d'avoir une notion d'intensité présente dans les articles afin de s'assurer que l'effort était réellement en anaérobie.

4.2.2.4 Choix des outils de mesure

Evaluation des DOMS :

Il a été décidé d'utiliser deux moyens de mesure différents pour évaluer les DOMS : l'échelle visuelle analogique (EVA) et le seuil de la douleur lors de la pression. Ces deux notions évaluent deux aspects différents des DOMS. En effet, selon l'étude de Lau, Muthalib, & Nosaka (2013) il n'y a pas de corrélation entre l'EVA et le seuil de la douleur lors d'une pression. Ce dernier est mesuré à l'aide d'un algomètre à pression. Cet appareil s'applique perpendiculairement à la peau avec une pression progressive jusqu'au premier symptôme douloureux du patient, qui correspond au seuil de la douleur à la pression (Fransoo, 2009). Selon les études de Chung, Um, & Kim (1992) et de Fischer (1987), la mesure du seuil de la douleur par l'algomètre à pression, a une fiabilité intra évaluateur et inter évaluateur élevée. De plus, selon Park, Kim, Park, Kim, & Jang (2011), cet outil a une spécificité relativement haute mais une sensibilité plutôt basse pour le diagnostic de syndrome myofascial douloureux.

Quant à l'EVA, elle est actuellement le questionnaire à échelle le plus utilisé pour coter la douleur. Celle-ci permet d'évaluer l'intensité de celle-ci, facilement et de manière fiable. Il est demandé au patient de placer un trait sur l'échelle, qui mesure 100 millimètre, pour signifier à quelle intensité se trouve sa douleur, sachant que 0 millimètre correspond à aucune douleur et que 100 millimètres à une douleur insupportable. La douleur s'évalue ainsi en millimètre (Pichard Leandri, 2000). Cet outil a une bonne fiabilité test-retest ($r=0.94$).

Evaluation des marqueurs biologiques :

Dans toutes les études, un échantillon de sang doit être prélevé par une infirmière diplômée au niveau d'une veine de l'avant-bras. Par la suite, l'analyse du sang se fait par spectrophotométrie infrarouge et un kit réactif spécifique pour la CK. Pour ce qui est de la CRP, un kit spécifique qui utilise une méthode

d'agglutination est utilisé. Pour les IL-6, il est nécessaire d'utiliser la méthode immunoenzymatique, où des anticorps spécifiques vont venir se lier aux cytokines (Alyanakian et al., 2014).

Evaluation de la fatigue physique :

Pour évaluer la fatigue de manière objective, il est possible d'utiliser la mesure de la performance de l'athlète avant et après avoir effectué l'effort intensif (Bishop et al., 2008). En effet, il est possible de calculer la "maximum isometric voluntary contraction" (MIVC) à l'aide d'un dynamomètre isocinétique afin d'évaluer la baisse de performance causée par l'effort physique (Morana & Perrey, 2009). Selon Edouard & Degache (2016), l'isocinétisme, outil fiable, reproductible et sensible, correspond au gold standard de la mesure de la force.

4.3 Étapes de la sélection des articles

La sélection a été faite par les deux auteurs, ensemble. Une ligne de conduite a été tenue en enlevant, dans un premier temps, les doublons, puis en évaluant les articles par leur titre, par le résumé et pour terminer, par leur lecture intégrale. Le détail de cette sélection est présenté dans les résultats.

4.4 Evaluation de la qualité des études

Afin d'évaluer la qualité méthodologique des articles retenus, l'échelle de Downs and Black appendix de 1998 a été utilisée [Annexe I]. Cette grille a été choisie pour sa capacité d'évaluation de la validité interne (VI) et de la validité externe (VE) de l'article.

Le questionnaire comprend 27 items, divisés en cinq catégories ("report", "external validity", "internal validity-biais", "internal validity-confounding" et "power"). Les réponses se cotent en "oui" = 1 point, "non" = 0 point et "impossible de déterminer" = 0 point. Excepté la cinquième question qui permet une réponse "partielle" à 1 point et une réponse "oui" à deux points ; et la question 27 qui octroie un score allant de 0 à 5 points. L'article peut donc obtenir un total maximum de 32 points.

Selon Downs & Black (1998), cette grille présente un indice de qualité avec une cohérence interne élevée. La fiabilité test-retest ($r=0.88$) et inter-évaluateur ($r=0.75$) est bonne. Sauf exception de la partie sur la validité externe, qui présente une faible fiabilité causée par une interprétation variable des questions (Downs & Black, 1998).

Après s'être assurés d'une compréhension commune des items, l'évaluation de la qualité des articles s'est faite de manière séparée entre les auteurs. Puis, une mise en commun a été effectuée pour les points où une interrogation persistait. Les résultats n'ont pas été utilisés pour la sélection des articles, mais uniquement pour évaluer leur qualité, la grille ne présentant pas de cut off pour juger si un article est de "bonne" ou de "mauvaise" qualité.

4.5 Méthode d'extraction des données

Un tableau d'extraction des données a été réalisé par les auteurs dans le but de relever les notions importantes des articles et de faciliter leur comparaison. La grille comprend une description de l'objectif de l'étude, de la population, de la méthode, de l'intervention, des outcomes, des résultats et de la conclusion que les auteurs retirent de leur étude [Annexe III]. Le tableau a été rempli de manière individuelle par les auteurs puis une mise en commun a été effectuée.

5. RÉSULTATS

5.1 Résultats de la recherche d'articles

Suite aux recherches effectuées sur les bases de données et les recherches manuelles, 37 études sont ressorties. La figure ci-dessous (figure 1) présente les étapes de sélection effectuées, en prenant compte les critères d'inclusion et d'exclusion. Une justification des causes d'exclusion des articles lors de ces étapes est présentée en annexe [Annexe V].

Figure 1 : Processus de sélection des articles

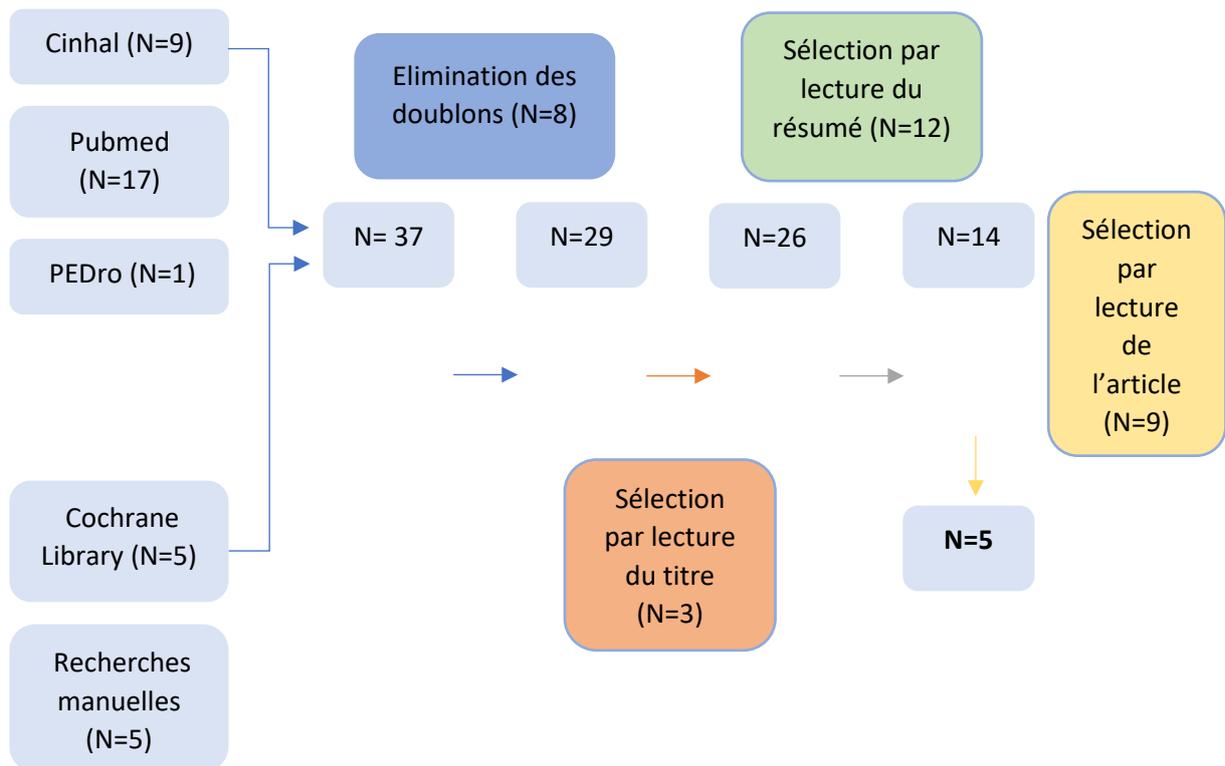


Tableau 3 : Articles sélectionnées

1 ^{er} auteur, année	Titre	Journal de publication	Base de données
Leal Junior, 2008	Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes.	Lasers Med Sci, n°24	Pubmed
Leal Junior, 2009a	Comparison between single-diode low-level laser therapy and led multi diode therapy: applications before high-intensity exercise.	Photomedicine and laser surgery, n°27	Recherches manuelles (Pubmed)
Leal Junior, 2010	Effects of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery.	Journal of orthopaedic & sports physical therapy, n°40	Recherches manuelles (Pubmed)
Vanin, 2016	Pre-exercise infrared low-level laser therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and postexercise recovery in humans, what is optimal dose? A randomized, double blind, placebo-controlled clinical trial.	Photomedicine and laser surgery, n°34	Cochrane Library et PEDro
De Oliveira, 2017	Pre-exercise infrared photobiomodulation therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and postexercise recovery in humans, what is optimal power output? A randomized, double blind, placebo-controlled clinical trial.	Photomedicine and laser surgery, n°35	Pubmed

5.2 Description des articles

Les cinq articles sont des RCT. Ceci implique deux conditions. Il y a dû avoir une attribution aléatoire des participants dans les différents groupes et l'étude devait comprendre un groupe contrôle comparé avec le groupe intervention. Dans les études sélectionnées, le groupe contrôle consistait en un groupe placebo. Elles étaient toutes en double aveugle. Trois d'entre elles avaient un plan expérimental de type croisé, c'est-à-dire qu'un groupe a reçu, à un moment (T1), le placebo et quelques temps après (T2), la séance de PBMT ; inversement pour l'autre groupe (Leal Junior et al., 2008, 2009a, 2010). Les mesures ont été effectuées à J1 puis 7 ou 14 jours plus tard pour effectuer la mesure dans les mêmes conditions. Les deux autres études ont un plan expérimental "avant-après", c'est à dire qu'il y avait un groupe intervention qui a reçu la séance de PBMT et l'autre le placebo, avec une prise de mesure avant et après l'intervention (De Oliveira et al., 2017 ; Vanin et al., 2016).

L'objectif général des articles était d'évaluer l'effet de la PBMT sur la récupération des athlètes. Leal Junior et al. (2008), Leal Junior et al. (2009a) et Leal Junior et al. (2010) avaient également comme deuxième objectif d'évaluer l'amélioration de la performance avec la même intervention. De Oliveira

et al. (2017) et Vanin et al. (2016) ont, quant à eux, décidé de former des groupes avec des différents paramètres, afin d'évaluer ceux qui apporteraient les meilleurs résultats au niveau des outcomes mesurés. Ils ont ainsi proposé plusieurs groupes d'intervention avec des doses différentes pour Vanin et al. (2016) et des puissances différentes pour De Oliveira et al. (2017).

5.2.1 Population

Trois des cinq études avaient des échantillons quasiment similaires. En effet, les études de Leal Junior et al. (2008) et de Leal Junior et al. (2010) comptaient chacune 9 participants et celle de Leal Junior et al. (2009) en avait 8. Les deux autres études avaient, quant à elles, des échantillons de 28 participants (De Oliveira et al., 2017 ; Vanin et al., 2016). Au total, on obtient une population composée de 82 sujets. Tous les participants étaient volontaires. Ils provenaient d'équipes de volleyball (Leal Junior et al., 2008, 2009a, 2010) ou de football (De Oliveira et al., 2017 ; Vanin et al., 2016) brésiliennes. Pour Leal Junior et al. (2008) et Vanin et al. (2016), il s'agissait de joueurs professionnels. Les athlètes de l'étude de Leal Junior et al. (2009a) effectuaient des compétitions, tout comme dans celle de Leal Junior et al. (2010) (informations obtenues directement par l'auteur). En ce qui concerne l'étude de De Oliveira et al. (2017), il était seulement spécifié que les athlètes pratiquaient leur sport à un haut niveau. Il était ainsi possible de déduire que ceux-ci effectuaient des compétitions de manière régulière. Les athlètes de chaque étude provenaient de la même équipe. Dans toutes les études, un taux de 80% de participation aux entraînements était demandé afin de s'assurer d'un niveau suffisant et équitable avec les autres joueurs de l'équipe. Plusieurs études ont demandé un temps minimum de pratique du sport à ce niveau, celui-ci se trouvait entre deux et cinq ans (Leal Junior et al., 2008, 2009a, 2010). Les sportifs qui avaient subi une blessure antérieure, au niveau des hanches, genoux et chevilles pour les sportifs qui ont reçu la PBMT au niveau du quadriceps ; ou respectivement à l'épaule ou au coude pour les études au niveau du biceps brachial, étaient systématiquement exclus de l'étude. L'exclusion était aussi appliquée pour les athlètes qui avaient utilisé des suppléments nutritionnels ou des agents pharmaceutiques. Un changement dans la routine d'entraînement chez Vanin et al. (2016) et De Oliveira (2017) et la consommation d'alcool et de tabac chez De Oliveira (2017) étaient également prohibés. Seul Vanin et al. (2016) spécifiait que les athlètes devaient avoir une couleur de peau claire ou intermédiaire sur l'échelle chromatique de Von Luschan.

Les 82 participants étaient uniquement des hommes. La moyenne d'âge de ceux-ci variait entre 18.5 ans et 20.67 ans. Concernant la taille et le poids, une disparité existait entre les études évaluant des volleyeurs (avec des moyennes entre 81.65 kilogrammes (kg) et 91.67 kg et entre 189.25 centimètres (cm) et 195.33 cm) par rapport aux études évaluant des footballeurs (avec des moyennes entre 63.58 kg et 65.73 kg et entre 172.94 cm et 173.48 cm). Cependant, en calculant l'indice de masse corporelle (IMC) de ses moyennes, une corrélation entre le poids et la taille a pu être observée, donnant des IMC allant de 21, 26 kg/m² à 24, 03 kg/m².

5.2.2 Intervention

L'intervention était exclusivement de la PBMT sous forme de laser. Cependant, les autres paramètres ont varié entre les différentes études. Ceux-ci sont décrits précisément dans le tableau 4. En ce qui concerne l'intervention placebo, elle consistait à effectuer la séance de PBMT avec l'appareil réglé sur 0 pour tous les paramètres. L'application était d'une durée égale à celle du groupe intervention, sauf pour De Oliveira et al. (2017) qui l'a appliqué 60 s et Vanin et al. (2016) 20 s.

Tableau 4 : Paramètres de l'intervention

1 ^{er} auteur, date	Longueur d'onde (nm)	Puissance/diode (mW)	Temps d'application/point (s)	Dose appliquée /diode (J)	Nombre de diode	Application	Muscle	Nombre de points d'application /muscle	Dose totale/ muscle (J)	
Leal Junior, 2008	830 nm	100 mW	40 s	4 J	1	Continu, stationnaire, angle droit, pression légère	Droit fémoral (bilatéralement)	5	40 J	
Leal Junior, 2009a	810 nm	200 mW	30 s	6 J	1	Continu, stationnaire, angle droit, pression légère	Droit fémoral (bilatéralement)	2	12 J	
Leal Junior, 2010	810 nm	200 mW	30 s	6 J	5	Stationnaire, angle droit, pression légère	Biceps (non-dominant)	2	60 J	
Vanin, 2016	A	810 nm	200 mW	10 s	2 J	5	Stationnaire, angle droit, pression légère	Quadriceps (non-dominant)	6	60 J
	B	810 nm	200 mW	30 s	6 J	5	Stationnaire, angle droit, pression légère	Quadriceps (non-dominant)	6	180 J
	C	810 nm	200 mW	50 s	10 J	5	Stationnaire, angle droit, pression légère	Quadriceps (non-dominant)	6	300 J
De Oliveira, 2017	A	810 nm	100 mW	100 s	10 J	5	Stationnaire, angle droit, pression légère	Quadriceps (non-dominant)	6	300 J
	B	810 nm	200 mW	50 s	10 J	5	Stationnaire, angle droit, pression légère	Quadriceps (non-dominant)	6	300 J

5.2.3 Effort physique

Dans toutes les études, excepté celle de De Oliveira et al. (2017), les participants devaient effectuer, avant l'effort physique, dans un but d'échauffement, des étirements des muscles principaux des membres inférieurs ou supérieurs, respectivement au muscle visé. La durée d'étirements était pour tous de 60 s mais le nombre de répétitions variait d'une à trois dans les études. Vanin et al. (2016) a ajouté un échauffement sur cycloergomètre, d'une durée de 5 min avec une vitesse de 100 tours par min (rpm), sans résistance.

5.2.3.1 Contractions excentriques du quadriceps

Pour De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016) l'effort physique correspondait en un protocole de contractions excentriques, exécuté sur un dynamomètre isocinétique, trois minutes après la séance de PBMT. Les participants devaient effectuer 3 séries de 15 répétitions avec 30 s de pause entre elles. Il était demandé au participant de résister contre la flexion de genou imposée par l'appareil. La vitesse était de 60°/seconde et une amplitude de mouvement de 60° était demandée (départ à 30° de flexion de genou jusqu'à atteindre 90° de flexion).

5.2.3.2 Wingate test

Ce test a été utilisé comme protocole de fatigue dans les études de Leal Junior et al. (2008) et Leal Junior et al. (2009a). Il a été effectué sur un cycloergomètre, trois minutes après la séance de PBMT. Le but était de pédaler le plus vite possible pendant 30 s contre une résistance de 7.5 % du poids de l'athlète.

5.2.3.3 Contractions concentriques du biceps

Pour la dernière étude, celle de Leal Junior et al. (2010), il était demandé aux athlètes d'effectuer, trois min après la séance de PBMT, des flexions du biceps brachial avec des poids libres, correspondant au 75 % de la MIVC de l'athlète, à une vitesse maximale. Le protocole était effectué sur un banc de musculation de type Scott, d'une inclinaison de 45°, avec les genoux et les hanches fléchis à 90°. Une amplitude allant de l'extension complète du coude vers une flexion du coude de 90° était demandée. Le protocole se terminait lorsque le participant n'était plus capable d'effectuer une flexion complète.

5.2.4 Résultats de la récupération sportive

5.2.4.1 Résultats de la mesure des DOMS par l'EVA et par l'algomètre à pression

Deux de nos cinq articles examinaient l'effet de la PBMT sur les DOMS. Tous deux utilisaient l'EVA ainsi que l'algomètre pour évaluer ce paramètre. Ces études ne comportaient aucune différence entre les groupes contrôles et les groupes traités lors des mesures prises avant l'effort.

De Oliveira et al. (2017) a trouvé une diminution significative de la PBMT à une puissance de 100 mW et 200 mW sur l'EVA, uniquement à 1 min et 1 h après l'effort (les mesures ayant été prises à 1 min, 1

h, 24 h, 48 h, 72 h et 96 h après l'effort). L'algomètre a détecté, pour les puissances de 100 mW et 200 mW, une diminution significative des DOMS par rapport au groupe placebo à 1 min, 1 h et 24 h après l'effort, se poursuivant même jusqu'à 48 h pour le groupe traité par une puissance de 100 mW.

Quant à Vanin et al. (2016), il n'a détecté aucune différence statistiquement significative à l'évaluation des DOMS par l'EVA ou à l'aide de l'algomètre, aux temps mesurés (1 min, 1 h, 24 h, 48 h, 72 h et 96 h). Les résultats précis sont présentés en annexe [Annexe VII].

5.2.4.2 Résultats de la mesure des taux sanguins des marqueurs biologiques

5.2.4.2.1 Créatine Kinase

Cette enzyme sanguine a été évaluée par l'ensemble de nos études. Dans aucune d'elles une différence significative était repérable entre les différents groupes lors de la prise de sang effectuée avant l'exercice physique.

Leal Junior et al. (2008) ainsi que Leal Junior et al. (2009a) ont pris une mesure unique 3 min après l'effort. Leal Junior et al. (2008) a trouvé une différence significative entre son groupe traité par laser (augmentation de $2.52 \text{ UI/L} \pm 7.04$) et son groupe placebo (augmentation de $28.49 \text{ UI/L} \pm 22.62$). Cependant, Leal Junior et al. (2009a) n'a repéré aucune différence significative.

L'étude de Leal Junior et al. (2010) a examiné le taux de CK 5 min après l'exercice. Les résultats étaient significativement diminués avec la PBMT, avec une pvalue de 0.017.

De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016) ont extrait le sang des athlètes à 1 min, 1 h, 24 h, 28 h, 72 h et 96 h post effort. De Oliveira et al. (2017) a repéré, dans les groupes traités à 100 mW et 200 mW, une amélioration significative du taux de CK par rapport au placebo à 24 h, 48 h, 72 h et 96 h. Cependant, à 1 min et 1 h après l'exercice physique, la différence entre les groupes n'était pas manifeste.

L'article de Vanin et al. (2016) a vu un changement significatif uniquement dans les groupes traités à 10 J et 50 J, les patients traités à 30 J n'ont eu aucun effet significatif. Dans le groupe à 10 J, les résultats diffèrent significativement du groupe placebo à 24 h, 48 h, 72 h et 96 h. Ces variations significatives étaient également observées dans le groupe à 50 J, dont l'effet était significatif dès 1 h post exercice. Dans aucun de ces groupes les mesures prises à une minute ne variaient par rapport au groupe placebo.

5.2.4.2.2 Protéine C-Réactive

Seul Leal Junior et al. (2010) a choisi cette protéine afin d'évaluer la récupération des athlètes. Avant le traitement, le groupe placebo et celui traité par PBMT avaient tous deux des résultats similaires. À 5 min après l'effort, le taux de CRP était significativement plus bas chez les sportifs traités ($p=0.047$).

5.2.4.2.2 Interleukine 6

L'IL-6 a été mesurée par De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016). Les résultats étaient similaires dans tous les groupes lors des prises de sang effectuées avant la PBMT.

À 1 min, 1 h, 24 h, 48 h, 72 h et 96 h, les résultats étaient significativement positifs dans les deux groupes traités par De Oliveira et al. (2017) (à 100 mW et 200 mW). Chez Vanin et al. (2016), seul le groupe irradié à 10 J a vu son taux d'IL-6 significativement diminuer comparé au groupe contrôle à tous les temps mesurés (1 min, 1 h, 24 h, 48 h, 72 h et 96 h). En effet, les athlètes irradiés à 30 J n'avaient plus de bénéfices après 72 h. Quant aux sportifs ayant reçu une dose de 50 J, les résultats étaient significatifs uniquement de 1 h post effort jusqu'à 72 h.

5.2.4.3 Résultats de la mesure de la fatigue par la MIVC

De Oliveira et al. (2017) ainsi que Vanin et al. (2016) ont chacun utilisé la MIVC pour mesurer la fatigue physique. Tous les groupes de ces deux études avaient des résultats similaires avant l'irradiation.

À 100 mW, De Oliveira et al. (2017) a trouvé un résultat significatif à tous les points dans le temps (1 min, 1 h, 24 h, 48 h, 72 h et 96 h), autant pour les valeurs absolues (en nanomètre) que relatives (en pourcentage). Son groupe de 200 mW a eu, pour les valeurs absolues, des variations significatives du placebo à tous les points dans le temps (sauf 48 h). Cependant, pour les valeurs relatives, seules les mesures prises à 1 min, 1 h et 96 h étaient significatives.

Vanin et al. (2016) n'a trouvé aucune différence significative face au placebo lors de l'irradiation des sportifs à une dose de 30 J. À 10 J, les résultats avaient une significativité de 24 h jusqu'à 96 h, autant pour les valeurs absolues que relatives. L'irradiation à une dose de 50 J a permis d'obtenir des résultats significatifs plus tôt, de 1 min à 24 h, cependant, dès 48 h, les résultats ne présentaient plus de différences notables. Les résultats précis sont présentés en annexe [Annexe VI].

Tableau 5 : Récapitulatif des résultats des études

1 ^{er} auteur, date		DOMS		Marqueurs biologiques			Fatigue
		EVA	Algomètre	CK	CRP	IL-6	MIVC
Leal Junior (2008)				3 min * (p=0.0133)			
Leal Junior (2009a)				3 min			
Leal Junior (2010)				5 min * (p= 0.017)	5 min * (p = 0.047)		
Vanin (2016)	10 J	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min 1 h 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *		1 min * 1 h * 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *	1 min 1 h 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *
	30 J	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h		1 min * 1 h * 24 h * 48 h * 72 h * 96 h	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h
	50 J	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min 1 h 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min 1 h * 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *		1 min 1 h * 24 h * 48 h * 72 h * 96 h	1 min * 1 h * 24 h * 48 h 72 h 96 h
De Oliveira (2017)	100 mW	1 min * 1 h * 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min * 1 h * 24 h * 48 h * 72 h 96 h	1 min 1 h 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *		1 min * 1 h * 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *	1 min * 1 h * 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *
	200 mW	1 min * 1 h * 24 h 48 h 72 h 96 h	1 min * 1 h * 24 h * 48 h 72 h 96 h	1 min 1 h 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *		1 min * 1 h * 24 h * 48 h * 72 h * 96 h *	1 min * 1 h * 24 h * 48 h 72 h * 96 h *

* = Statistiquement différent du placebo (p<0.05).

5.3 Evaluation de la qualité des articles

Les articles que nous avons retenus ont obtenu un score allant de 21 à 23 points sur un total possible de 32 points (détails précis des scores en annexe [Annexe II]).

Les études ont obtenu un score se situant entre 6 et 8 points (11 au maximum) pour la partie compte-rendu. En ce qui concerne la validité externe, les cinq études n'ont obtenu aucun point, contrairement à la validité interne-biais où il y a eu un score quasiment maximal. En effet, quatre études sur cinq ont obtenu la totalité des points. Pour la deuxième partie de la validité interne, celle des variables confondantes, le score variait entre 3 et 5 pour un maximum de 6 points possibles. Pour terminer, toutes les études ont obtenus les 5 points possibles pour la catégorie puissance.

Tableau 6 : Scores de la qualité des études

1 ^{er} auteur, date	Compte-rendu (/11)	VE (/3)	VI-biais (/7)	VI-variables confondantes (/6)	Puissance (/5)	Total (/32)
Leal Junior (2008)	6	0	7	3	5	21
Leal Junior (2009a)	6	0	7	3	5	21
Leal Junior (2010)	8	0	6	4	5	23
Vanin (2016)	6	0	7	5	5	23
De Oliveira (2017)	6	0	7	4	5	22

6. DISCUSSION

6.1 Interprétation des résultats

Globalement, les études ont démontré une amélioration statistiquement significative de la récupération des athlètes suite à une séance de PBMT, appliquée avant un effort physique. Leal Junior et al. (2009a) est le seul à ne pas avoir trouvé de bénéfice à l'utilisation de la PBMT. Cependant, il est le seul à avoir irradié uniquement deux points sur un muscle aussi grand que le droit fémoral. En effet, Leal Junior et al. (2008) a irradié le droit fémoral sur cinq points ; Vanin et al. (2016) ainsi que De Oliveira et al. (2017) ont irradié six points du quadriceps. Leal Junior et al. (2010) ont également décidé de traiter uniquement deux points, mais la PBMT a été effectuée sur le biceps ; un muscle beaucoup plus petit que le droit fémoral. Le nombre de points irradiés devrait donc être proportionnel à la taille du muscle traité. Il devrait également être adapté à l'effort. En effet, le Wingate Test employé par Leal Junior et al. (2009a) implique une contraction coordonnée de plusieurs muscles. L'irradiation d'aussi peu de points sur un seul muscle, dans ce cas-ci, paraît insuffisante et pourrait expliquer l'absence d'effet significatif dans cette étude. Augmenter le nombre de points de traitement semblerait ainsi pertinent, étant donné que Leal Junior et al. (2008), pour le même effort physique, a pu ressortir des résultats significativement différents du placebo en irradiant cinq points.

Excepté l'étude de Leal Junior et al. (2009a) et le groupe de 30 J de Vanin et al. (2016), tous les groupes des quatre autres études ont démontré une diminution significative du taux de CK dans le sang. Les études les plus anciennes ont ressorti un changement significatif immédiat, alors que dans les deux

études les plus récentes, l'effet apparaissait, à notre grande surprise, qu'après 1 h. Cependant, une fois significative, la diminution le restait jusqu'à 96 h. Ceci peut éventuellement être expliqué par le fait que les exercices de type excentrique engendrent une augmentation du taux de CK plus tardive que pour des exercices concentriques (Totsuka et al., 2002). De plus, tous les groupes dont le taux de marqueurs biologiques de l'inflammation a été évalué (que ce soit la CRP ou l'IL-6) ont eu des effets concluants. Ces résultats nous permettent de conclure que la PBMT effectuée trois minutes avant l'effort physique a un rôle protecteur sur les lésions musculaires liées à l'exercice, telles les DOMS.

Cependant, l'étude de Vanin et al. (2016) n'a curieusement ressorti aucun effet bénéfique de la PBMT sur les DOMS, lorsque celle-ci été évaluée par l'EVA ou l'algomètre à pression. Toutefois, la sensation douloureuse étant subjective et n'étant pas corrélée à la gravité des lésions structurelles (Moseley, 2007), et au vu des résultats des marqueurs biologiques des lésions musculaires, nous pouvons poser l'hypothèse qu'il y a malgré tout eu une amélioration des microlésions dans les groupes testés par PBMT. Les DOMS provoquant également une diminution de force, nous pouvons soutenir notre hypothèse grâce aux résultats significatifs obtenus pour la MIVC.

L'effet significatif sur les DOMS ressort plus dans l'article de De Oliveira et al. (2017). En effet, en plus des résultats concluants de tous les marqueurs biologiques sanguins et de la MIVC, la sensation douloureuse provoquée par les DOMS a également été significativement diminuée par la PBMT. Cet effet a perduré 24 h de temps pour le groupe traité à 200 mW et jusqu'à 48 h pour le groupe irradié à 100 mW. Le manque de significativité, une fois passé les 48h, est probablement expliqué par la diminution spontanée des symptômes douloureux des DOMS.

Un effet intéressant des paramètres ressort de ces études et permettrait de guider les thérapeutes dans leur choix. Selon Vanin et al. (2016), la PBMT à 50 J a un effet immédiat sur la fatigue physique (de 1 min à 24 h), alors que l'irradiation à 10 J améliore la MIVC après un certain temps de latence et a des résultats significatifs dès 24 h, et jusqu'à 96 h. Nous pouvons donc formuler l'hypothèse qu'un paramétrage à 10 J serait utile pour des sports nécessitant une période de récupération plus longue entre les matches, alors qu'une irradiation à 50 J procurerait des meilleurs résultats pour des athlètes ayant besoin d'un temps de récupération très court, comme les arts martiaux ou des sprinters. Cette hypothèse est transposable pour la puissance, grâce à l'étude de De Oliveira et al. (2017). À 200 mW, les résultats de la MIVC étaient d'autant plus significatifs à court terme (de 1 min à 24 h), laissant penser qu'à cette puissance, les sportifs ayant des périodes de récupération courtes en seraient les plus bénéficiaires.

Ces résultats montrent un effet prometteur de la PBMT sur la récupération des athlètes. Ils permettraient aux thérapeutes d'améliorer le temps de récupération des sportifs entre les sessions d'exercices et, par conséquent, d'augmenter les performances. Il est important de notifier, en dehors de l'objectif visé par cette revue, que la PBMT aurait un potentiel d'améliorer la performance physique des athlètes. En effet, nous avons remarqué qu'au sein des groupes qui ont évalué la MIVC, excepté celui de 30 J de Vanin et

al. (2016) et les groupes placebo, la valeur de MIVC a augmenté après un certain temps au-dessus de la valeur évaluée avant la séance de PBMT. Nous pouvons donc supposer que la PBMT a permis d'augmenter celle-ci. Il faudrait toutefois évaluer la proportion qui est due à la PBMT et celle due à l'effet de surcompensation mentionné au chapitre 2.4.

6.2 Mise en regard avec la littérature

Un grand nombre d'études présentes dans la littérature ont eu pour objectif d'évaluer l'efficacité de la PBMT. Cependant, celles-ci diffèrent de celles utilisées dans cette étude principalement par leur population visée et par leurs paramètres et applications de la PBMT.

En ce qui concerne les DOMS, les résultats sont particulièrement controversés, ce qui suit la logique des résultats trouvés dans notre revue. L'étude de Baroni et al. (2010), se rapprochant le plus des études de De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016) avec l'utilisation d'un laser de 5 diodes de longueur d'onde de 810 nm appliqué sur 5 points du quadriceps avant un protocole de contractions excentriques équivalent à celui de ces deux études, n'a pas démontré d'effets significatifs sur les DOMS mesurés par l'EVA. Ces résultats soutiennent ainsi la possibilité que l'évaluation subjective par l'EVA n'est pas complètement représentative des lésions musculaires. Une tendance vers une amélioration des DOMS 24 h et 48 h après l'effort physique ont cependant été observés dans cette étude. Une tendance à des meilleurs résultats a, toutefois, été observée dans des études utilisant des LEDs ajoutés aux lasers ou utilisés de manière exclusive, contrairement aux études qui ont utilisé uniquement des lasers qui n'ont pas trouvé de résultats significatifs (Antoniali et al., 2014 ; Baroni et al., 2010; Borges et al., 2013 ; De Marchi et al., 2017 ; De Marchi, Schmitt, Machado, et al., 2017 ; De Paiva et al., 2016 ; Douris et al., 2006; Larkin-Kaiser, Christou, Tillman, George, & Borsa, 2015).

Concernant les taux sanguins, l'étude de Baroni et al. (2010), a démontré un effet significatif de la PBMT appliquée en prévention sur la diminution du taux de CK à 24 h et 48 h après l'effort. Ces résultats concordent avec les valeurs significatives plutôt tardives relevées dans les études de De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016). Aucune mesure n'a cependant été effectuée immédiatement après l'effort. De Marchi et al. (2012) a quant à lui évalué le taux de CK exclusivement cinq min après l'effort. Une diminution significative du taux a pu être observée avec l'utilisation de la PBMT en prévention avec des lasers de 810 nm. Ces résultats suivent ainsi les valeurs observées dans cette revue de la littérature (Leal Junior et al., 2008, 2010). Il faut toutefois rester attentif que les participants de ces deux études n'étaient pas des athlètes. Pour le taux de CRP, l'étude de Leal Junior et al. (2009b) a démontré des résultats significatifs 3 min après l'effort, résultats concordant avec les résultats de Leal Junior et al. (2010). Leal Junior et al. (2011), qui a utilisé la PBMT après l'effort physique, n'a, quant à lui, trouvé aucun effet significatif sur le taux de CRP. On peut donc supposer que l'utilisation de la PBMT en amont de l'effort serait plus efficace que l'utilisation après l'effort pour diminuer le taux de CRP. Concernant le marqueur de l'inflammation, IL-6, l'étude de Tucci et al. (2019) n'a pas trouvé de diminution significative du taux

d'IL-6 24 h et 48 h suite à une séance de PBMT appliquée après un programme d'entraînement de résistance. Ce résultat ne correspond pas aux résultats trouvés au sein de notre revue. Toutefois, à nouveau, plusieurs paramètres ne sont pas identiques, tels que la population qui était composée exclusivement de femmes âgées, l'utilisation de LED et l'application en curatif, c'est-à-dire après l'effort.

Quant à l'évaluation de la MIVC, les résultats sont controversés. En effet, l'étude de Baroni et al. (2010) a relevé une amélioration positive de la MIVC suite à l'utilisation de la PBMT par rapport au placebo, immédiatement, 24 h et 48 h après l'effort. Ces résultats ne sont, cependant, pas égaux à ceux relevés dans des groupes similaires de cette revue, comme celui de 200 mW de De Oliveira et al. (2017) et celui de 30 J de Vanin et al. (2016). La seule différence notable réside au niveau de la population non-athlétique de l'étude de Baroni et al. (2010). L'étude de Gorgey, Wadee, & Sobhi (2008), qui utilisait des lasers à 808 nm, n'a, quant à elle, pas trouvé d'effet significatif. Cette différence pourrait toutefois s'expliquer par l'utilisation de stimulations neuromusculaires électriques à la place d'un effort actif. Cette étude avait également une longueur d'onde différente, à 808 nm et une puissance à 500 mW.

6.3 Qualité et biais des études

6.3.1 Description globale de l'étude

Comme mentionné précédemment, le type RCT de tous nos articles a permis d'assurer une certaine qualité de celles-ci. Le type « crossover » de trois des études a permis de diminuer des risques de biais causés par les variables confondantes, étant donné que la population qui a reçu la PBMT est la même que celle qui a reçu le placebo. Le financement des études était également un biais éventuel non négligeable, à prendre en considération. Dans l'étude de Leal Junior et al. (2008) il n'est pas spécifié qui a financé l'étude. Il est ainsi possible que les résultats de l'étude aient pu être biaisés par le financement d'une entreprise promotrice de ce type d'appareil, ceci d'autant plus que cette étude a eu des résultats positifs. En ce qui concerne les autres études, il était spécifié qu'il n'y a pas eu de conflits d'intérêt, ou que le financement a été effectué par un département de recherche d'une université et non d'une entreprise (Leal Junior et al. , 2009a ; Vanin et al., 2016).

6.3.2 Population

Premièrement, comme il a été démontré dans les résultats de la grille Downs and Black, aucune étude n'a obtenu de points concernant la validité externe. Nous avons effectivement remarqué que, dans tous les articles, la population cible est peu représentative de la population globale visée. En effet, le recrutement au sein d'une seule équipe ne permet pas de représenter la population source, qui est les athlètes, dans sa globalité. Ce choix de la part des auteurs est cependant compréhensible car il permet une certaine homogénéité au niveau des charges et de la fréquence des entraînements et des compétitions imposées aux athlètes. Il permet ainsi d'assurer une meilleure validité interne à l'étude. Les études n'ont

inclus que des hommes ; les conclusions retirées de ces articles ne sont donc pas transposables à une population d'athlètes en général.

Les études ne mentionnent pas le nombre de joueurs composant l'équipe, ou correspondant aux critères d'inclusion, si tous ceux qui y correspondent ont été sélectionnés et quel mode de sélection a été utilisé. Il nous est donc impossible de savoir si l'échantillon est représentatif de la population cible et s'il y a eu un biais d'échantillonnage.

Les articles manquaient également d'informations concernant l'équipe où la sélection avait eu lieu. En effet, deux études sur cinq n'ont pas spécifié le niveau des joueurs (Leal Junior et al., 2009a, 2010). De Oliveira et al. (2017) est, quant à lui, resté très large avec le terme de « haut niveau ». Seules les études de Leal Junior et al. (2008) et de Vanin et al. (2016) ont spécifié que les participants étaient des professionnels.

Concernant la taille des échantillons, deux études l'ont calculée dans le but d'estimer le nombre de participants nécessaire dans chaque groupe afin de mettre en évidence une différence réelle entre l'intervention et le placebo (De Oliveira et al., 2017 ; Vanin et al., 2016). Pour ce faire, elles se sont basées sur une étude préexistante, celle de Baroni et al. (2010) et ont décidé d'accepter une erreur de première espèce de 5 % et une erreur de deuxième espèce de 20 %. Leal Junior et al. (2008), Leal Junior et al. (2009a) et Leal Junior et al. (2010) n'ont, quant à eux, pas spécifié comment ils l'avaient calculée. Nous pouvons toutefois supposer que leur taille d'échantillon était suffisante, étant donné qu'ils avaient, par groupe, un nombre quasiment identique de participants par rapport aux études de De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016).

La grille Downs and Black a également relevé que les études manquaient d'informations sur les variables confondantes qui auraient pu induire un biais sur le réel effet de l'intervention. Les études ont toutefois essayé de les limiter en introduisant des critères d'exclusion tels que l'utilisation de produits pharmaceutiques ou des changements récents de la pratique sportive. Ils n'étaient cependant pas toujours tous mentionnés dans les études alors que ceux-ci peuvent avoir un impact réel sur l'effet de la PBMT.

Il faut toutefois spécifier que, dans tous les cas, l'assignation a été effectuée de manière randomisée, les attributions dans les groupes sont restées secrètes jusqu'à la fin de l'étude, les critères d'inclusion et d'exclusion étaient clairement définis et le nombre d'abandons, lorsqu'il était énoncé, n'a pas dépassé les 15 % (De Oliveira et al., 2017 ; Leal Junior et al., 2008, 2009a, 2010 ; Vanin et al., 2016). Ceci assure donc une certaine qualité des études.

6.3.3 Intervention

Au niveau de l'intervention, nous avons relevé que les études manquaient d'information au sujet de la description des cliniciens qui ont appliqué la PBMT. En effet, nous ne savons pas s'il s'agit de personnels dans le domaine, ce qui assurerait une certaine qualité dans l'exécution du protocole

d'intervention. Nous ne savons également pas s'il s'agissait toujours des mêmes praticiens qui ont effectué l'intervention. Le lieu dans lequel la séance s'est déroulée n'est également pas décrit dans trois des études sélectionnées (Leal Junior et al., 2008, 2009a, 2010). Cette information est souhaitée au sein d'une étude afin de s'assurer que l'intervention corresponde à la réalité de la clinique et qu'ainsi, les résultats puissent être transposés. Dans les études de De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016) il est spécifié que celle-ci a été conduite par le centre de recherche de photothérapie dans le milieu du sport et de l'exercice de l'université Julho de São Paulo. L'intervention a ainsi probablement eu lieu au sein d'un laboratoire de recherche. Etant donné que la plupart du temps la PBMT est appliquée en cabinet ou même dans les vestiaires avant une compétition, nous estimons qu'un laboratoire n'est pas représentatif de la réalité. Il est ainsi possible que celui-ci ait engendré un biais d'intervention.

Pour les protocoles d'intervention, il est important de notifier que dans toutes les études, les paramètres de la PBMT et la durée de la séance sont clairement décrits. Comme le signale Hamblin (2016), il est difficile de dire si le protocole d'intervention correspond à la littérature, étant donné la variété de réglages et d'applications possibles. Concernant le groupe contrôle, utilisé dans toutes les études, il correspondait à un groupe contrôle placebo. Ceci a permis d'assurer une certaine qualité des résultats, en éliminant totalement le possible effet placebo de la PBMT. Toutefois, dans une étude, il manquait l'information si le placebo avait été appliqué à une durée équivalente à la PBMT (Leal Junior et al., 2008). Quant aux études de De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016), le temps des séances de placebo n'était pas égal au temps des séances de PBMT, pouvant ainsi créer un biais d'intervention. Dans l'étude de Leal Junior et al. (2009a), les participants d'un groupe ont reçu une séance de PBMT composée de LEDs une semaine avant d'avoir reçu la séance de LLLT. Il est peut-être possible que l'effet de la séance de LLLT soit moindre suite à une possible accommodation à la PBMT.

Les interventions se sont toutes déroulées en aveugle tant pour le participant que pour le thérapeute. A chaque fois, un technicien réglait l'appareil préalablement à la séance afin que le thérapeute applique la PBMT, sans connaître le groupe auquel le participant était attribué. Les études ont ensuite ajouté des techniques pour assurer un aveuglement optimal. En effet, De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016) se sont assurés que l'appareil émettait le même bruit pour l'intervention et le placebo. Leal Junior et al. (2008) et Leal Junior et al. (2009a) ont, quant à eux, voulu masquer la vision, dans le but de supprimer tout indice pouvant indiquer au patient que l'appareil était allumé (ampoule ou interrupteur allumé). Pour cela, Leal Junior et al. (2009a) a ajouté des lunettes opaques aux participants et au thérapeute. Leal Junior et al. (2008) s'est assuré que l'appareil ne soit pas allumé tant qu'il ne se trouvait pas en contact avec la peau et que l'appareil soit éteint avant que le thérapeute l'enlève.

6.3.4 Outils de mesure et outcomes

Comme exposé au point 4.2.2.4, les outils de mesure utilisés pour évaluer les DOMS sont fiables et validés. Pour l'évaluation du seuil de la douleur lors de la pression, l'étude de Kosek, Jan Ekholm, Per

Hansson (1999) a toutefois ressorti que le niveau de sensibilité au niveau de la peau peut influencer le seuil de la douleur à la pression. Fischer (1987) a démontré que le seuil peut varier en fonction de l'épaisseur du muscle et des tissus sous-cutanés. Ce biais ne devrait toutefois pas avoir d'impact au sein des études, étant donné que toutes les évaluations ont été effectuées sur les mêmes points, avant et après l'intervention. Concernant l'EVA, l'étude de Thong, Jensen, Miró, & Tan (2018) a démontré qu'elle fait partie des échelles de la douleur qui sont le moins influencées par des facteurs non-douloureux. Cet outil ne devrait donc pas avoir engendré trop de biais. Ces outils restent toutefois relatifs à la sensibilité de la personne et sont ainsi très subjectifs.

Concernant la mesure de la CK, selon Biomnis (2012), la spectrophotométrie est la technique usuelle pour mesurer le taux de CK. Cependant, il spécifie que cela permet de connaître le dosage total de la CK, mais pas spécifiquement celui de la CK-MM, qui nous concerne dans le cas de la récupération. Il n'y a toutefois pas de raison pour que les taux de CK-MB et CK-BB dans le sang augmentent particulièrement pendant l'effort, comme nous le démontre l'étude de Totsuka et al. (2002). Il est également préconisé de conserver le prélèvement maximum 24 h à l'air ambiant ou 10 jours à 4°C. Seuls Leal Junior et al. (2010) et Vanin (2016) ont mentionné la congélation du prélèvement et seul Leal Junior et al. (2010) a mentionné l'avoir analysé une semaine après. Il n'y a donc pas eu de biais de procédure dans cette dernière étude et normalement pas dans celle de Vanin et al. (2016). Pour les autres, il nous manque les informations nécessaires. Leal Junior et al. (2008) et Leal Junior et al. (2009a) sont les seules études qui ne sont pas entrées dans la fourchette d'augmentation du taux de CK selon Biomnis (2012) présentée au point 2.3.2.1. Les exercices ont peut-être été insuffisants pour créer une élévation assez importante du taux pour signaler des dommages musculaires. Pour la mesure de CRP, la méthode d'agglutination est régulièrement utilisée. Cependant, elle présente quelques inconvénients. En effet, il s'agit d'une mesure semi-quantitative, c'est-à-dire que la mesure se fait premièrement de manière qualitative ; s'il y a une agglutination cela veut dire que le taux de CRP est à ≥ 6 mg/l. Puis, une dilution permet de connaître la mesure exacte. Le test se limite ainsi aux valeurs se trouvant au-dessus de ≥ 6 mg/l (Biolabo, 2012). Quant aux IL-6, la méthode immunoenzymatique est couramment utilisée. Elle comporte toutefois un désavantage de conservation. Il est nécessaire de congeler l'échantillon à -20° pour le conserver (IBL international, 2014). Les mêmes risques de biais que pour la mesure de la CK sont ainsi présents dans les études. Puis, comme mentionné dans le chapitre 4.2.4.2, la mesure de la MIVC à l'aide d'un dynamomètre isocinétique est fiable.

Dans le même sens que dans le chapitre précédent, nous avons relevé que les études manquaient d'informations au niveau de la description des cliniciens qui ont mesuré les outcomes, ceci afin de s'assurer que ceux-ci avaient les compétences nécessaires pour effectuer les évaluations.

6.3.5 Méthode d'analyse

Seules les études de De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016) ont spécifié avoir effectué une analyse statistique en intention de traiter. Il n'était toutefois pas très important de le spécifier dans les autres études, étant donné qu'il n'a pas eu d'abandon, excepté chez Leal Junior et al. (2008) et Leal Junior et al. (2009a) qui n'ont pas indiqué s'il y en avait eu. Les études de De Oliveira et al. (2017) et Vanin et al. (2016) ont précisé que les chercheurs qui ont effectué les analyses n'avaient pas connaissance des assignations aux différents groupes. Ceci assure une certaine qualité de méthodologie par rapport aux trois autres études. Puis, les tests statistiques sont clairement spécifiés et la limite de significativité a été placée à $p < 0.05$.

6.4 Limites de la revue

6.4.1 Stratégie de recherche

La recherche que nous avons effectuée avec les mots-clés décrits plus haut nous a permis de détecter uniquement trois de nos cinq articles. Les deux autres ont été trouvés grâce à des recherches manuelles. Nous estimons donc que nos équations de recherche auraient pu être plus optimales. Nous sommes restés très superficiels quant aux outcomes recherchés en utilisant, exclusivement, un terme global de récupération sportive afin de ne pas trop restreindre nos recherches. Il est possible qu'une recherche plus affinée aurait pu ressortir plus d'articles classés sous des termes Mesh plus spécifiques. Il a été observé que les deux études trouvées par recherches manuelles ne comportaient pas les termes Mesh liés aux athlètes ou aux sportifs, alors que ceux-ci ont une population d'athlètes. Ce mot-clé aurait également limité nos résultats de recherche.

6.4.2 Sélection des articles

La sélection de nos articles a été très réductrice. En effet, nous avons appliqué des critères d'inclusion très précis concernant les paramètres de PBMT. Ceci nous permettait de comparer les résultats en limitant le plus possible les biais d'intervention. Cependant, cela nous limite pour la transposition des résultats à la réalité. Nous avons accordé une certaine liberté quant au sport pratiqué par les athlètes, dans les études. Cependant, les différents sports n'impliquent pas les mêmes groupes musculaires et pas de la même manière. Ceci a ainsi peut-être pu induire un biais pour la comparaison des résultats.

Une des limites de notre travail a également été que, suite à notre sélection d'articles, nous nous sommes rendu compte que trois d'entre eux ont été rédigés par le même auteur (auteur principal) et qu'il avait participé à la rédaction des deux autres études. Nous nous sommes toutefois aperçus que les auteurs de la majorité des articles concernant la PBMT sont régulièrement les mêmes. Cette thématique étant encore peu étudiée, il est ainsi normal de retrouver régulièrement des auteurs impliqués dans cette recherche. Nous nous sommes toutefois assurés qu'aucune étude était un doublon d'une autre. Une limite importante de notre revue a été que toutes nos études n'évaluaient pas tous les outcomes que nous

avons sélectionnées. En effet, par exemple, seul une étude a évalué le taux de CRP, il est donc difficile de tirer une conclusion sur une seule mesure.

6.4.3 Sélection de la grille de qualité

La grille de qualité présentait quelques limites, telles que le manque de fiabilité de la partie validité et également le fait qu'elle soit en anglais. Une mise en commun de la compréhension des items, par les deux auteurs, a toutefois permis de diminuer le risque d'une mauvaise compréhension.

6.5 Implication et recommandations pour la pratique

Étant donné les résultats que nous avons obtenus dans notre revue systématique, nous pouvons soutenir favorablement l'utilisation de la PBMT, avec les paramètres choisis, comme moyen de récupération chez les athlètes. Nous recommandons aux thérapeutes d'ajuster les paramètres aux exigences des différents sports pratiqués. En effet, comme constaté précédemment, certains réglages favoriseraient plutôt une récupération à court terme, alors que d'autres auraient un effet plutôt à long terme, avantageant les sportifs nécessitant une plus longue récupération.

Cependant, nos résultats sont à prendre avec précautions. En effet, vu la spécificité de nos paramètres choisis et de notre population cible, les résultats sont difficilement généralisables à la pratique. La plupart des machines commercialisées comportent un mélange de lasers et de LEDs ou sont constituées uniquement de LEDs (Life +, n.d). Nous ne pouvons pas affirmer que l'ajout de LEDs a un effet similaire sur la récupération des athlètes. La plupart des appareils disponibles sur le marché sont préprogrammés par les firmes (Life +, n.d). Ces paramétrages étant probablement différents des réglages très spécifiques que nous avons choisis dans notre étude, il nous est difficile d'affirmer que l'utilisation de ces appareils de PBMT permettrait d'arriver à des résultats concluants.

De plus, un consensus général a été posé quant à l'adaptation des paramètres de la PBMT aux caractéristiques personnelles des patients traités (Nussbaum, Van Zuylén, & Jing, 2007). Les thérapeutes devraient donc être prudents quant à l'application des résultats de notre étude sur leurs patients. Premièrement, celle-ci a été faite sur des athlètes et par conséquent, étant donné des différences physiologiques de cette population face aux personnes non sportives, les résultats sont difficilement transposables à une population moins active. De plus, les articles que nous avons analysés comportaient uniquement des hommes. La dose utilisée pour des athlètes de sexe féminin devrait probablement être augmentée. En effet, pour un même IMC, les femmes ont généralement un taux de masse grasseuse plus élevée que les hommes, or les lipides ont un spectre d'absorption avec un apogée atteint dans les infrarouges. Ce raisonnement est applicable pour les sujets ayant une masse grasseuse plus importante. Dans ces deux cas, les doses devraient être augmentées afin d'avoir une pénétration des rayons équivalente à la population de nos articles (Nussbaum et al., 2007). L'étude de Souza-Barros et al. (2018) a démontré que l'épaisseur de la peau des individus est un facteur diminuant la réception des rayons par

les tissus situés plus en profondeur. Il conseille donc d'augmenter, tout en respectant les normes de l'American National Standards Institute. La couleur de peau impacterait l'absorption des lumières de longueur d'onde rouge, mais aucun effet significatif n'a été retrouvé pour les lumières de longueur d'onde infrarouge (Nussbaum et al., 2007 ; Souza-Barros et al., 2018). Cet effet pourrait être expliqué par le fait que l'absorption des rayons par la mélanine diminue de façon exponentielle une fois que les 600 nm sont atteints. À des valeurs entre 810 et 830 nm, comme celles retrouvées dans nos articles, la mélanine n'a presque plus d'impact sur la dose délivrée aux muscles. D'autres pistes de recherche devraient être toutefois effectuées.

6.5.1 Photobiomodulation et dopage

Au vu des effets positifs de la PBMT décrits ultérieurement sur la récupération ainsi que sur les performances des athlètes, la question de la légalisation de cette pratique ou non devrait bientôt être abordée (Ferraresi et al., 2016).

Selon l'article 4.3.1 du code mondial antidopage du 15 novembre 2013, « une substance ou méthode sera susceptible d'être incluse dans la liste des interdictions si l'Agence mondiale antidopage (AmA), à sa discrétion, détermine que la substance ou méthode remplit deux des trois critères suivants :

- 4.3.1.1 La preuve médicale ou scientifique, l'effet pharmacologique ou l'expérience démontrant que la substance ou la méthode, seule ou combinée à d'autres substances ou méthodes, a le potentiel d'améliorer ou améliore effectivement la performance sportive ;
- 4.3.1.2 La preuve médicale ou scientifique, l'effet pharmacologique ou l'expérience démontrant que l'usage de la substance ou de la méthode présente un risque avéré ou potentiel pour la santé du sportif ;
- 4.3.1.3 La détermination par l'AmA que l'usage de la substance ou de la méthode est contraire à l'esprit sportif tel que décrit dans l'introduction du Code. »

À ce jour, aucun effet secondaire présentant un risque pour la santé du sportif n'a été mis en évidence (Barolet, 2008), émancipant ainsi la PBMT du point 4.3.1.2. Cependant, il y a plusieurs preuves scientifiques soutenant le potentiel d'amélioration de la performance sportive de cette méthode (de Brito Vieira et al., 2012 ; Ferraresi et al., 2016 ; Hemmings et al., 2016 ; Lanferdini et al., 2018). La légalité de la PBMT en compétition sportive sera donc déterminée par l'AmA au cas où elle estime que la PBMT est contraire, ou non, à l'esprit sportif. Si l'AmA décide d'interdire ce moyen d'intervention, le problème sous-jacent de la détection en aval d'un traitement de PBMT se pose. En effet, aucun test biochimique du sang ou des urines n'existe, à ce jour, afin de détecter si un muscle a été irradié (Ferraresi et al., 2016).

6.6 Pistes pour les recherches futures

Suite à la réalisation de cette revue, il est ressorti qu'il serait intéressant d'évaluer plus précisément les paramètres nécessaires pour atteindre un effet le plus optimal. En effet, étant donné qu'aucun consensus n'ait été posé quant aux réglages les plus efficaces, il est possible qu'un effet encore plus important soit atteignable. Une fois les paramètres optimaux trouvés, il serait judicieux de mener plus d'études sur les effets de la PBMT sur la récupération sportive des athlètes afin de confirmer nos hypothèses. Nous estimons pertinent de conduire plus de recherches sur l'hypothétique rôle des paramètres pour une récupération à court terme ou à plus long terme. Il s'agit d'un point crucial qui est ressorti dans notre discussion pour adapter la thérapie à l'activité des sportifs. Une piste pour de futures recherches serait également d'inclure une population d'athlètes femmes, non retenues dans nos études. Il serait intéressant d'évaluer les effets de la PBMT pour cette population aux caractéristiques différentes, mais dont les contraintes et exigences sont tout autant importantes que celles des hommes.

7. CONCLUSION

Ce travail a été réalisé dans le but d'évaluer l'efficacité d'une séance de PBMT, appliquée en prévention d'un effort intensif, sur la récupération sportive des athlètes. Un deuxième objectif était, si possible, de donner des recommandations aux thérapeutes qui viendraient à utiliser cette technologie. Au vu des résultats obtenus dans les articles, nous soutenons l'hypothèse que la PBMT a un effet bénéfique sur la fatigue physique, les microlésions musculaires et l'inflammation associée. Toutefois, suite à la confrontation avec les autres études, il en ressort que ces conclusions sont applicables exclusivement pour les paramètres utilisés dans cette revue et sur cette population. Il faut être attentif à ce que le nombre de points irradiés soit proportionnel à la grandeur du muscle et au nombre de groupes musculaires impliqués par l'effort physique. Dans cette revue, il est ressorti que cinq points irradiés sur le quadriceps sont suffisants pour atteindre l'effet escompté lors d'un effort impliquant de manière globale les membres inférieurs, tandis que pour l'utilisation sur un biceps brachial, deux points d'irradiation sont suffisants. Les paramètres de PBMT sont également variables en fonction de l'objectif escompté. En effet, comme cité précédemment, certains paramètres seraient plus utiles pour des sports où il est nécessaire de récupérer très rapidement. D'autres sports, dont l'objectif serait d'améliorer la récupération suite à un entraînement ou une compétition, nécessiteraient des paramètres différents. Il est important que le thérapeute adapte les réglages aux caractéristiques personnelles de l'athlète.

Au vu de la qualité et des biais présents dans les articles sélectionnés, nous restons toutefois sur une conclusion modérée quant aux résultats de cette revue. Des études complémentaires plus conséquentes seraient souhaitées afin de comparer plusieurs paramètres et ainsi proposer des recommandations plus précises aux thérapeutes.

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

Figure 1 : Processus de sélection des articles (p.19)

Tableau 1 : Equations de recherche (p.14)

Tableau 2 : Critères d'inclusion et d'exclusion (p.15)

Tableau 3 : Articles sélectionnés (p.20)

Tableau 4 : Paramètres d'intervention (p.23)

Tableau 5 : Récapitulatif des résultats des études (p.27)

Tableau 6 : Scores de la qualité des études (p.28)

LISTE DE RÉFÉRENCES

- Adhihetty, P. J., Irrcher, I., Joseph, A.-M., Ljubicic, V., & Hood, D. A. (2003). Plasticity of skeletal muscle mitochondria in response to contractile activity. *Experimental Physiology*, 88(1), 99-107. doi:10.1113/eph8802505
- Art.4.3.1 du code mondial antidopage du 15 novembre 2013.
- Alyanakian, M.-A., Acouturier, P., Batteux, F., Cesbron, J.-Y., Degenne, D., & Dragon-Durey, M.-A. (2014). *Guide des analyses en immunologie*. Repéré à <http://meslivres.site/LIVREF/F5/F005069.pdf>
- Anders, J. J., Lanzafame, R. J., & Arany, P. R. (2015). Low-Level Light/Laser Therapy Versus Photobiomodulation Therapy. *Photomedicine and Laser Surgery*, 33(4), 183-184. doi:10.1089/pho.2015.9848
- Antonialli, F. C., De Marchi, T., Tomazoni, S. S., Vanin, A. A., dos Santos Grandinetti, V., de Paiva, P. R. V., ... Leal Junior, E. C. P. (2014). Phototherapy in skeletal muscle performance and recovery after exercise: effect of combination of super-pulsed laser and light-emitting diodes. *Lasers in Medical Science*, 29(6), 1967-1976. doi:10.1007/s10103-014-1611-7
- Baird, M. F., Graham, S. M., Baker, J. S., & Bickerstaff, G. F. (2012). Creatine-Kinase- and Exercise-Related Muscle Damage Implications for Muscle Performance and Recovery. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012, 1-13. doi:10.1155/2012/960363
- Barnett, A. (2006). Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: does it help? *Sports Medicine*, 36(9), 781-796. doi:10.2165/00007256-200636090-00005
- Barolet, D. (2008). Light-Emitting Diodes (LEDs) in Dermatology. *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery*, 27(4), 227-238. doi:10.1016/j.sder.2008.08.003
- Baroni, B. M., Leal Junior, E. C. P., De Marchi, T., Lopes, A. L., Salvador, M., & Vaz, M. A. (2010). Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 110(4), 789-796. doi:10.1007/s00421-010-1562-z
- Best, T., Hunter, R., Wilcox, A., & Haq, F. (2008). Effectiveness of sports massage for recovery of skeletal muscle from strenuous exercise. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 18(5), 446-460. doi:10.1097/JSM.0b013e31818837a1
- Biffi, W. L., Moore, E. E., Moore, F. A., & Peterson, V. M. (1996). Interleukin-6 in the injured patient. Marker of injury or mediator of inflammation? *Annals of Surgery*, 224(5), 647-664. doi:10.1097/0000658-199611000-00009
- Biolabo. (2012). CRP-Latex. Repéré à <http://www.biolabo.fr/biolabo/pdfs/noticesFR/serologieFR/FT-097100.pdf>
- Biomnis. (2012). Créatine-kinase et isoenzymes. Repéré à <https://www.eurofins-biomnis.com/referentiel/liendoc/precis/ICK.pdf>
- Bishop, N. C., Gleeson, M., Nicholas, C. W., & Ali, A. (2002). Influence of carbohydrate supplementation on plasma cytokine and neutrophil degranulation responses to high intensity intermittent exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 12(2), 145-156. doi:10.1123/ijsnem.12.2.145
- Bishop, P., Jones, E., & Woods, A. K. (2008). Recovery From Training: A Brief Review. *Journal of*

- Bjordal, J. M., Johnson, M. I., Iversen, V., Aimbire, F., & Lopes-Martins, R. A. B. (2006). Low-Level Laser Therapy in Acute Pain: A Systematic Review of Possible Mechanisms of Action and Clinical Effects in Randomized Placebo-Controlled Trials. *Photomedicine and Laser Surgery*, 24(2), 158-168. doi:10.1089/pho.2006.24.158
- Black, S., Kushner, I., & Samols, D. (2004). C-reactive Protein. *Journal of Biological Chemistry*, 279(47), 48487-48490. doi:10.1074/jbc.R400025200
- Borges, L. S., Cerqueira, M. S., dos Santos Rocha, J. A., Conrado, L. A. L., Machado, M., Pereira, R., & Neto, O. P. (2013). Light-emitting diode phototherapy improves muscle recovery after a damaging exercise. *Lasers in Medical Science*. doi:10.1007/s10103-013-1486-z
- Borsa, P., Larkin, K., & True, J. (2013). Does phototherapy enhance skeletal muscle contractile function and postexercise recovery? A systematic review. *Journal of athletic training*, 48(1), 57-67. doi:10.4085/1062-6050-48.1.12
- Boyas, S., & Guével, A. (2011). Neuromuscular fatigue in healthy muscle: Underlying factors and adaptation mechanisms. *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine*, 54(2), 88-108. doi:10.1016/j.rehab.2011.01.001
- Cadiou, N. (2015). *Impact du massage sportif sur la récupération musculaire, suite à une épreuve physique*. Travail de diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute, Institut de formation en masso-kinésithérapie de Rennes. Repéré à https://ifpek.centredoc.org/doc_num.php?explnum_id=1390
- CEA. (2014). Le laser: un concentré de lumière. Repéré à <http://www.cea.fr/multimedia/Documents/publications/livrets-thematiques/CEA-Laser.pdf>
- Chung, S. C., Um, B. Y., & Kim, H. S. (1992). Evaluation of pressure pain threshold in head and neck muscles by electronic algometer: intrarater and interrater reliability. *Cranio: The Journal of craniomandibular practice*, 10(1), 28-34. doi:10.1080/08869634.1992.11677888
- Clarkson, P. M., & Hubal, M. J. (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11), 52-69. doi:10.1097/01.PHM.0000029772.45258.43
- Coudreuse, J.-M., Dupont, P., & Nicol, C. (2007). Douleurs musculaires post-effort. *Journal de Traumatologie du Sport*, 24(2), 103-110. doi:10.1016/j.jts.2007.03.006
- Cruikshank, A. M., Fraser, W. D., Burns, H. J., Van Damme, J., & Shenkin, A. (1990). Response of serum interleukin-6 in patients undergoing elective surgery of varying severity. *Clinical Science*, 79(2), 161-165. doi:10.1042/cs0790161
- De Brito Vieira, W. H., Ferraresi, C., de Andrade Perez, S. E., Baldissera, V., & Parizotto, N. A. (2012). Effects of low-level laser therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: a randomized controlled clinical trial. *Lasers in Medical Science*, 27(2), 497-504. doi:10.1007/s10103-011-0984-0
- De Marchi, T., Leal Junior, E. C. P., Bortoli, C., Tomazoni, S. S., Lopes-Martins, R. A. B., & Salvador, M. (2012). Low-level laser therapy (LLLT) in human progressive-intensity running: effects on exercise performance, skeletal muscle status, and oxidative stress. *Lasers in Medical Science*, 27(1), 231-236. doi:10.1007/s10103-011-0955-5

- De Marchi, T., Leal Junior, E. C. P., Lando, K. C., Cimadon, F., Vanin, A. A., da Rosa, D. P., & Salvador, M. (2019). Photobiomodulation therapy before futsal matches improves the staying time of athletes in the court and accelerates post-exercise recovery. *Lasers in Medical Science*, 34(1), 139-148. doi:10.1007/s10103-018-2643-1
- De Marchi, T., Schmitt, V. M., Danúbia da Silva Fabro, C., da Silva, L. L., Sene, J., Tairova, O., & Salvador, M. (2017). Phototherapy for Improvement of Performance and Exercise Recovery: Comparison of 3 Commercially Available Devices. *Journal of Athletic Training*, 52(5), 429-438. doi:10.4085/1062-6050-52.2.09
- De Marchi, T., Schmitt, V. M., Machado, G. P., de Sene, J. S., de Col, C. D., Tairova, O., ... Leal Junior, E. C. P. (2017). Does photobiomodulation therapy is better than cryotherapy in muscle recovery after a high-intensity exercise? A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial. *Lasers in Medical Science*, 32(2), 429-437. doi:10.1007/s10103-016-2139-9
- De Oliveira, A. R., Vanin, A. A., Tomazoni, S. S., Miranda, E. F., Albuquerque-Pontes, G. M., De Marchi, T., ... Leal Junior, E. C. P. (2017). Pre-Exercise Infrared Photobiomodulation Therapy (810 nm) in Skeletal Muscle Performance and Postexercise Recovery in Humans: What Is the Optimal Power Output? *Photomedicine and Laser Surgery*, 35(11), 595-603. doi:10.1089/pho.2017.4343
- De Paiva, P. R. V., Tomazoni, S. S., Johnson, D. S., Vanin, A. A., Albuquerque-Pontes, G. M., Machado, C. dos S. M., ... Leal Junior, E. C. P. (2016). Photobiomodulation therapy (PBMT) and/or cryotherapy in skeletal muscle restitution, what is better? A randomized, double-blinded, placebo-controlled clinical trial. *Lasers in Medical Science*, 31(9), 1925-1933. doi:10.1007/s10103-016-2071-z
- Dos Reis, F. A., da Silva, B. A. K., Laraia, E. M. S, de Melo, R. M., Silva, P. H., Leal Junior, E. C. P., & de Carvalho, P. T. C. (2014). Effects of pre- or post-exercise low-level laser therapy (830 nm) on skeletal muscle fatigue and biochemical markers of recovery in humans: double-blind placebo-controlled trial. *Photomedicine and Laser Surgery*, 32(2), 106-112. doi:10.1089/pho.2013.3617
- Douris, P., Southard, V., Ferrigi, R., Grauer, J., Katz, D., Nascimento, C., & Podbielski, P. (2006). Effect of Phototherapy on Delayed Onset Muscle Soreness. *Photomedicine and Laser Surgery*, 24(3), 377-382. doi:10.1089/pho.2006.24.377
- Doutreloux, J.-P. (2015). *Physiologie et biologie du sport*. Paris, France: Vigot.
- Dupuy, O., Douzi, W., Theurot, D., Bosquet, L., & Dugué, B. (2018). 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. *Frontiers in physiology*, 9, 1-15. doi:10.3389/fphys.2018.00403
- Edouard, P., & Degache F. (2016). *Guide de l'isocinétisme: L'évaluation isocinétique des concepts aux conditions sportives et pathologiques*. Elsevier Masson.
- Edwards, R. H., Hill, D. K., Jones, D. A., & Merton, P. A. (1977). Fatigue of long duration in human skeletal muscle after exercise. *The Journal of Physiology*, 272(3), 769-778. doi:10.1113/jphysiol.1977.sp012072
- El Helou, N. (2011). *Epidémiologie et physiopathologie du sport*. Thèse de doctorat inédite, Université de Paris V. Repéré à <https://hal-insep.archives-ouvertes.fr/tel-01788555/document>
- Enwemeka, C. S. (1988). *Laser Biostimulation of Healing Wounds: Specific Effects and Mechanisms*

- of Action. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 9(10), 333-338. doi:10.2519/jospt.1988.9.10.333
- Enwemeka, C. S. (2001). Attenuation and penetration of visible 632.8 nm and invisible infra-red 904 nm light in soft tissues. *Laser therapy*, 13, 95-101. doi:10.5978/islsm.13.95
- Escavador. (2018). Ernesto Cesar Pinto Leal Junior. Repéré à <https://www.escavador.com/sobre/9392587/ernesto-cesar-pinto-Leal-Junior>
- Fallon, K. E., Sivyer, G., Sivyer, K., & Dare, A. (1999). The biochemistry of runners in a 1600 km ultramarathon. *British Journal of Sports Medicine*, 33(4), 264-269. doi:10.1136/bjism.33.4.264
- Ferraresi, C., Hamblin, M. R., & Parizotto, N. A. (2012). Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light. *Photonics & Lasers in Medicine*, 1(4), 1-32. doi:10.1515/plm-2012-0032
- Ferraresi, C., Huang, Y.-Y., & Hamblin, M. R. (2016). Photobiomodulation in human muscle tissue: an advantage in sports performance? *Journal of Biophotonics*, 9(11-12), 1273-1299. doi:10.1002/jbio.201600176
- Fischer, A. A. (1987). Pressure algometry over normal muscles. Standard values, validity and reproducibility of pressure threshold: *Pain*, 30(1), 115-126. doi:doi.org/10.1016/0304-3959(87)90089-3
- Fransoo, P. (2009). L'algomètre de pression. *Kinésithérapie, la Revue*, 9(95), 44-47. doi:10.1016/S1779-0123(09)70066-X
- Fridén, J., Kjörrell, U., & Thornell, L. E. (1984). Delayed muscle soreness and cytoskeletal alterations: an immunocytological study in man. *International Journal of Sports Medicine*, 5(1), 15-18. doi:10.1055/s-2008-1025873
- Gill, N. D. (2006). Effectiveness of post-match recovery strategies in rugby players. *British Journal of Sports Medicine*, 40(3), 260-263. doi:10.1136/bjism.2005.022483
- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium: Lactate metabolism. *The Journal of Physiology*, 558(1), 5-30. doi:10.1113/jphysiol.2003.058701
- Godlewsky, G. (2004). *Laser et biostimulation*. Document inédit, Faculté de médecine, Montpellier-Nîmes, France.
- Gorgey, A. S., Wade, A. N., & Sobhi, N. N. (2008). The Effect of Low-Level Laser Therapy on Electrically Induced Muscle Fatigue: A Pilot Study. *Photomedicine and Laser Surgery*, 26(5), 501-506. doi:10.1089/pho.2007.2161
- Grandjean, N., Gublin, J., & Bürgi, A. (2016). *Swiss Olympic : Concept cadre pour le développement du sport et des athlètes en Suisse* [Brochure]. Ittigen près de Berne, Suisse: Office fédéral du sport et Swiss Olympic.
- Gremion, G., & Kuntzer, T. (2014). Fatigue et réduction de la performance motrice chez le sportif, syndrome de surentraînement. *Revue Médicale Suisse*, 10, 962-965. Repéré à <https://www.revmed.ch/RMS/2014/RMS-N-428/Fatigue-et-reduction-de-la-performance-motrice-chez-le-sportif-syndrome-de-surentraînement>
- Grimby, G., & Saltin, B. (1983). The ageing muscle. *Clinical Physiology*, 3(3), 209-218. doi:10.1111/j.1475-097X.1983.tb00704.x

- Hall, M. M., Rajasekaran, S., Thomsen, T. W., & Peterson, A. R. (2016). Lactate: Friend or Foe. *PM&R*, 8(3), 8-15. doi:10.1016/j.pmrj.2015.10.018
- Halson, S., & Jeukendrup, A. E. (2004). Does Overtraining Exist?: An Analysis of Overreaching and Overtraining Research. *Sports Medicine*, 34(14), 967-981. doi:10.2165/00007256-200434140-00003
- Hamblin, M. R. (2016). Photobiomodulation or low-level laser therapy. *Journal of Biophotonics*, 9(11-12), 1122-1124. doi:10.1002/jbio.201670113
- Heinrich, P. C., Castell, J. V., & Andus, T. (1990). Interleukin-6 and the acute phase response. *Biochemical Journal*, 265(3), 621-636. doi:10.1042/bj2650621
- Hemmings, T. J., Kendall, K., & Dobson, J. L. (2016). Identifying dosage effect of LEDT on muscular fatigue in quadriceps: *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(2), 365-402. doi:10.1519/JSC.0000000000001523
- Herbert, R. D., de Noronha, M., & Kamper, S. J. (2011). Stretching to prevent or reduce muscle soreness after exercise. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 7(7), 1-47. doi:10.1002/14651858.CD004577.pub3
- Huang, Y.-Y., Chen, A. C.-H., Carroll, J. D., & Hamblin, M. R. (2009). Biphasic Dose Response in Low Level Light Therapy. *Dose-Response*, 7(4), 358-383. doi:10.2203/dose-response.09-027.Hamblin
- IBL international. (2014). *Interleukin-6 ELISA*. Repéré à https://www.ibl-international.com/media/catalog/product/B/E/BE53061_IFU_fr_IL-6_ELISA_V2014-11_sym3.pdf
- Kishimoto, T. (1989). The biology of interleukin-6. *Blood*, 74(1), 1-10. Repéré à <http://www.bloodjournal.org/content/74/1/1?sso-checked=true>
- Kosek, E., Ekholm, J., & Hansson, P. (1999). Pressure pain thresholds in different tissues in one body region: the influence of skin sensitivity in pressure algometry. *Scandinavian Journal of Rehabilitation Medicine*, 31(2), 89-93. doi:10.1080/003655099444597
- Kristjansson, R. P., Oddsson, A., Helgason, H., Sveinbjornsson, G., Arnadottir, G. A., Jensson, B., ... Stefansson, K. (2016). Common and rare variants associating with serum levels of creatine kinase and lactate dehydrogenase. *Nature Communications*, 7(1), 1-8. doi:10.1038/ncomms10572
- Kwan-Hoong, N. (2003). Non-Ionizing Radiations – Sources, Biological Effects, Emissions and Exposures, *Electromagnetic fields and our health*. 1-16. Repéré à <https://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/en/keynote3ng.pdf>
- Lanferdini, F. J., Bini, R. R., Baroni, B. M., Klein, K. D., Carpes, F. P., & Vaz, M. A. (2018). Improvement of Performance and Reduction of Fatigue With Low-Level Laser Therapy in Competitive Cyclists. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 13(1), 14-22. doi:10.1123/ijsp.2016-0187
- Lau, W. Y., Muthalib, M., & Nosaka, K. (2013). Visual Analog Scale and Pressure Pain Threshold for Delayed Onset Muscle Soreness Assessment. *Journal of Musculoskeletal Pain*, 21(4), 320-326. doi:10.3109/10582452.2013.848967

- Leal Junior, E. C., de Godoi, V., Mancalossi, J. L., Rossi, R. P., De Marchi, T., Parente, M., ... Lopes-Martins, R. A. B. (2011). Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in athletes—preliminary results. *Lasers in Medical Science*, 26(4), 493-501. doi:10.1007/s10103-010-0866-x
- Leal Junior, E. C. P., Lopes-Martins, R. A. B., Baroni, B. M., De Marchi, T., Rossi, R. P., Grosselli, D., ... Bjordal, J. M. (2009a). Comparison Between Single-Diode Low-Level Laser Therapy (LLLT) and LED Multi-Diode (Cluster) Therapy (LEDT) Applications Before High-Intensity Exercise. *Photomedicine and Laser Surgery*, 27(4), 617-623. doi:10.1089/pho.2008.2350
- Leal Junior, E. C. P., Lopes-Martins, R. A. B., Baroni, B. M., De Marchi, T., Taufer, D., Manfro, D. S., ... Bjordal, J. M. (2008). Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes. *Lasers in Medical Science*, 24(6), 857-863. doi:10.1007/s10103-008-0633-4
- Leal Junior, E. C. P., Lopes-Martins, R. A. B., Frigo, L., De Marchi, T., Rossi, R. P., de Godoi, V., ... Bjordal, J. M. (2010). Effects of Low-Level Laser Therapy (LLLT) in the Development of Exercise-Induced Skeletal Muscle Fatigue and Changes in Biochemical Markers Related to Postexercise Recovery. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 40(8), 524-532. doi:10.2519/jospt.2010.3294
- Leal Junior, E. C. P., Lopes-Martins, R. A. B., Rossi, R. P., De Marchi, T., Baroni, B. M., de Godoi, V., ... Bjordal, J. M. (2009b). Effect of cluster multi-diode light emitting diode therapy (LEDT) on exercise-induced skeletal muscle fatigue and skeletal muscle recovery in humans. *Lasers in Surgery and Medicine*, 41(8), 572-577. doi:10.1002/lsm.20810
- Leal Junior, E. C. P., Vanin, A. A., Miranda, E. F., de Carvalho, P. de T. C., Dal Corso, S., & Bjordal, J. M. (2015). 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 in Medical Science*, 30(2), 925-939. doi:10.1007/s10103-013-1465-4
- Life +. (n.d). Life+ SportDevice : Préparation physique et Récup musculaire. Repéré à <https://www.neolysplus.fr/produit/life-sportdevice/>
- Light Motion. (n.d). Photomodulation LED - Kinésithérapie - Light Motion. Repéré à <https://www.lightmotion.fr/actualites/>
- Lockwood, C., Sfetcu, R., & Oh, E. G. (2011). *Synthesizing quantitative evidence* [Synthesis Science in health care series]. Accès https://nursing.lsuhsu.edu/JBI/docs/JBIBooks/Syn_Quant_Evidence.pdf
- Lopes-Martins, R. A. B., Marcos, R. L., Leonardo, P. S., Prianti, A.C., Muscarà, M. N., Aimbire, F., ... Bjordal, J. M. (2006). Effect of low-level laser (Ga-Al-As 655 nm) on skeletal muscle fatigue induced by electrical stimulation in rats. *Journal of Applied Physiology*, 101(1), 283-288. doi:10.1152/jappphysiol.01318.2005
- Machado, A. F., Micheletti, J. K., Vanderlei, F. M., Nakamura, F. Y., Leal Junior, E. C. P., Netto Junior, J., & Pastre, C. M. (2017). 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*, 21(4), 296-304. doi:10.1016/j.bjpt.2017.05.010
- Malone, J. K., Blake, C., & Caulfield, B. M. (2014). Neuromuscular Electrical Stimulation During Recovery From Exercise: A Systematic Review. *Journal of Strength and Conditioning*

- Marieb, E. N., & Hoehn, K. (2015). *Anatomie et physiologie humaines*. Montréal, Canada : ERPI.
- Maulucci, F., Tsouni, P., & Kuntzer, T. (2015). Quand suspecter une myopathie ? *Forum Médical Suisse – Swiss Medical Forum*, 15(26), 623-628. doi:10.4414/fms.2015.02337
- Menzies, P., Menzies, C., McIntyre, L., Paterson, P., Wilson, J., & Kemi, O. J. (2010). Blood lactate clearance during active recovery after an intense running bout depends on the intensity of the active recovery. *Journal of Sports Sciences*, 28(9), 975-982. doi:10.1080/02640414.2010.481721
- Miller, S. (2016). Non-coherent light sources. Repéré à <https://www.fda.gov/downloads/AdvisoryCommittees/CommitteesMeetingMaterials/Radiation-EmittingProducts/TechnicalElectronicProductRadiationSafetyStandardsCommittee/UCM526259.pdf>
- Minett, G., & Costello, J. T. (2015). Specificity and context in post-exercise recovery: it is not a one-size-fits-all approach. *Frontiers in Physiology*, 6, 1-3. doi:10.3389/fphys.2015.00130
- Morana, C., & Perrey, S. (2009). Evaluation de la fatigue musculaire. *Kinésithérapie scientifique*, 500, 5-10. Repéré à <https://www.ks-mag.com/article/7451-evaluation-de-la-fatigue-musculaire>
- Moseley, G. L. (2007). Reconceptualising pain according to modern pain science. *Physical Therapy Reviews*, 12(3), 169-178. doi:10.1179/108331907X223010
- Mueller-Wohlfahrt, H.-W., Haensel, L., Mithoefer, K., Ekstrand, J., English, B., McNally, S., ... Uebliacker, P. (2013). Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*, 47(6), 342-350. doi:10.1136/bjsports-2012-091448
- Nussbaum, E. L., Van Zuylen, J., & Jing, F. (2007). Transmission of Light through Human Skin Folds during Phototherapy: Effects of Physical Characteristics, Irradiation Wavelength, and Skin-Diode Coupling. *Physiotherapy Canada*, 59(3), 194-207. doi:10.3138/ptc.59.3.194
- Pape, H. C., van Griensven, M., Rice, J., Gänslen, A., Hildebrand, F., Zech, S., ... Krettek, C. (2001). Major secondary surgery in blunt trauma patients and perioperative cytokine liberation: determination of the clinical relevance of biochemical markers. *The Journal of Trauma*, 50(6), 989-1000. doi:10.1097/00005373-200106000-00004
- Park, G., Kim, C. W., Park, S. B., Kim, M. J., & Jang, S. H. (2011). Reliability and Usefulness of the Pressure Pain Threshold Measurement in Patients with Myofascial Pain. *Annals of Rehabilitation Medicine*, 35(3), 412-417. doi:10.5535/arm.2011.35.3.412
- Paulsen, G., Mikkelsen, U. R., Raastad, T., & Peake, J. M. (2012). Leucocytes, cytokines and satellite cells: what role do they play in muscle damage and regeneration following eccentric exercise? *Exercise Immunology Review*, 18, 42-97. Repéré à <http://eir-isei.de/2012/eir-2012-042-article.pdf>
- Pedersen, T. H., Clausen, T., & Nielsen, O. B. (2003). Loss of force induced by high extracellular [K⁺] in rat muscle: effect of temperature, lactic acid and 2-agonist. *The Journal of Physiology*, 551(1), 277-286. doi:10.1113/jphysiol.2003.041418
- Perrichet, J. G. (2013). Les traitements par laser de faible puissance, effets sur la cicatrisation des

- tissus de la cavité buccale. Thèse de doctorat inédite, Université de Lorraine. Repéré à <https://hal.univ-lorraine.fr/hal-01731677/document>
- Pichard Leandri, E. (2000). Les outils d'évaluation de la douleur. *L'aide-soignante*, 21, 17-21. Repéré à http://www.medecine.ups-tlse.fr/DCEM2/module6/soins_paliatifs/MODULE_II/B03-%20Les%20outils%20d%27evaluation%20de%20la%20douleur.pdf
- Pinto, H. D., Vanin, A. A., Miranda, E. F., Tomazoni, S. S., Johnson, D. S., Albuquerque-Pontes, G. M., ... Leal Junior, E. C. P. (2016). Photobiomodulation Therapy Improves Performance and Accelerates Recovery of High-Level Rugby Players in Field Test: A Randomized, Crossover, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 30(12), 3329-3338. doi:10.1519/JSC.0000000000001439
- Poitte, T. (2013). Principes et aspects technologiques du laser. *Le point vétérinaire*, (341), 24-29. Repéré à <https://www.lepointveterinaire.fr/publications/le-point-veterinaire/article-canin/n-341/principes-et-aspects-technologiques-du-laser.html>
- Poppendieck, W., Wegmann, M., Ferrauti, A., Kellmann, M., Pfeiffer, M., & Meyer, T. (2016). Massage and Performance Recovery: A Meta-Analytical Review. *Sports Medicine*, 46(2), 183-204. doi:10.1007/s40279-015-0420-x
- Roelandts, R. (2005). A new light on Niels Finsen, a century after his nobel prize. *Photodermatology, Photoimmunology and Photomedicine*, 21(3), 115-117. doi:10.1111/j.1600-0781.2005.00160.x
- Romagnoli, M., Sanchis-Gomar, J., Alis, R., Risso-Ballester, J., Bosio, A., Graziani, R. L., & Rampinini, E. (2016). Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(10), 1198-1205. Repéré à <http://www.minervamedica.it>
- Saliou, M. (2017). Effet du massage dans la prévention des douleurs musculaires d'apparition retardée. Mémoire inédit, Institut de formation en masso-kinésithérapie de Rennes. Repéré à https://ifpek.centredoc.org/doc_num.php?explnum_id=1640
- Schmitz, A. (2013). Effets d'un programme de pliométrie sur la qualité physique de capacité à répéter des sprints chez les handballeuses. Mémoire master inédit, Université de Montpellier 1. Repéré à <https://www.memoireonline.com/11/13/7684/Effets-d-un-programme-de-plierometrie-sur-la-qualite-physique-de-capacite--repetet-des-sprints.html>
- Sesboüé, B., & Guincestre, J.-Y. (2006). La fatigue musculaire. *Annales de Réadaptation et de Médecine Physique*, 49(6), 257-264. doi:10.1016/j.annrmp.2006.04.021
- Souza-Barros, L., Dhaidan, G., Maunula, M., Solomon, V., Gabison, S., Lilge, L., & Nussbaum, E. L. (2018). Skin color and tissue thickness effects on transmittance, reflectance, and skin temperature when using 635 and 808 nm lasers in low intensity therapeutics: lasers in low intensity therapeutics. *Lasers in Surgery and Medicine*, 50(4), 291-301. doi:10.1002/lsm.22760
- Teixeira, A. D. O., Paulitsch, F. D. S., Umpierre, M. D. M., Moraes, M. B. de, Rosa, C. E. da, & Signori, L. U. (2015). Inflammatory response after session of resistance exercises in untrained volunteers. *Health Sciences*, 37(1), 31-39. doi:10.4025/actascihealthsci.v37i1.24149
- Terjung, R. (1995). Adaptation des muscles à l'entraînement aérobie. *Gatorade Sports Science Institute*, 8(54). Repéré à <http://www.gssiweb.org:80/fr-ca/article/sse-n54-adaptation-des-muscles-lentrancement-arobie>

- Thong, I. S. K., Jensen, M. P., Miró, J., & Tan, G. (2018). The validity of pain intensity measures: what do the NRS, VAS, VRS, and FPS-R measure? *Scandinavian Journal of Pain*, *18*(1), 99-107. doi:10.1515/sjpain-2018-0012
- Torres, R., Ribeiro, F., Alberto Duarte, J., & Cabri, J. M. H. (2012). Evidence of the physiotherapeutic interventions used currently after exercise-induced muscle damage: Systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport*, *13*(2), 101-114. doi:10.1016/j.ptsp.2011.07.005
- Totsuka, M., Nakaji, S., Suzuki, K., Sugawara, K., & Sato, K. (2002). Break point of serum creatine kinase release after endurance exercise. *Journal of Applied Physiology*, *93*(4), 1280-1286. doi:10.1152/jappphysiol.01270.2001
- Tucci, H. T., Figueiredo, D. S., de Paula Carvalho, R., Souza, A. C. F., Vassão, P. G., Renno, A. C. M., & Ciol, M. A. (2019). Quadriceps femoris performance after resistance training with and without photobiomodulation in elderly women: a randomized clinical trial. *Lasers in Medical Science*. 1-12. doi:10.1007/s10103-019-02748-x
- Tzankoff, S. P., & Norris, A. H. (1977). Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes. *Journal of Applied Physiology*, *43*(6), 1001-1006. doi:10.1152/jappl.1977.43.6.1001
- Urhausen, A., & Kindermann, W. (2002). Diagnosis of Overtraining: What Tools Do We Have? *Sports Medicine*, *32*(2), 95-102. doi:10.2165/00007256-200232020-00002
- Vanin, A. V., De Marchi, T., Silva Tomazoni, S., Tairova, O., Leão Casalechi, H., de Tarso Camillo de Carvalho, P., ... Leal Junior, E. C. (2016). Pre-Exercise Infrared Low-Level Laser Therapy (810 nm) in Skeletal Muscle Performance and Postexercise Recovery in Humans, What Is the Optimal Dose? A Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled Clinical Trial. *Photomedicine and Laser Surgery*, *34*(10), 473-482. doi:10.1089/pho.2015.3992
- Vanin, A. A., Verhagen, E., Barboza S. D., Costa, L. O., & Leal Junior, E. C. P. (2018). Photobiomodulation therapy for the improvement of muscular performance and reduction of muscular fatigue associated with exercise in healthy people: a systematic review and meta-analysis. *Lasers in Medical Science*, *33*(1), 181-214. doi:10.1007/s10103-017-2368-6
- Vella, L., Caldwell, M. K., Larsen, A. E., Tassoni, D., Della Gatta, P. A., Gran, P., ... Cameron-Smith, D. (2012). Resistance exercise increases NF- κ B activity in human skeletal muscle. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, *302*(6), 667-673. doi:10.1152/ajpregu.00336.2011
- Vigushin, D. M., Pepys, M. B., & Hawkins, P. N. (1993). Metabolic and scintigraphic studies of radioiodinated human C-reactive protein in health and disease. *Journal of Clinical Investigation*, *91*(4), 1351-1357. doi:10.1172/JCII16336
- Weineck, J. (1992). *Biologie du sport*. Paris : Vigot.
- Westerbald, H., & Allen, D. G. (1993). The contribution of [Ca²⁺]_i to the slowing of relaxation in fatigued single fibres from mouse skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, *468*, 729-740. doi:10.1113/jphysiol.1993.sp019797
- Wiewelhove, T., Reader, C., Meyer, T., Kellmann, M., Pfeiffer, M., Ferrauti, A., & Tauler, P. (2015). Markers for Routine Assessment of Fatigue and Recovery in Male and Female Team Sport Athletes during High-Intensity Interval Training. *PLOS ONE*, *10*(10), 1-17. doi:10.1371/journal.pone.0139801

ANNEXES

- I. Grille Downs and Black
- II. Tableau avec scores détaillés des articles sur la grille Downs and Black
- III. Grilles d'extraction de données
- IV. Tableau justificatif des causes d'exclusion des articles
- V. Tableau récapitulatif des résultats à la mesure de la MIVC
- VI. Tableaux récapitulatifs des résultats aux évaluations des DOMS

Annexe I : Grille Downs and Black

Item	Criteria	Possible Answers
Reporting		
1	<i>Is the hypothesis/aim/objective of the study clearly described?</i>	Yes = 1 No = 0
2	<i>Are the main outcomes to be measured clearly described in the Introduction or Methods section? If the main outcomes are first mentioned in the Results section, the question should be answered no.</i>	Yes = 1 No = 0
3	<i>Are the characteristics of the patients included in the study clearly described? In cohort studies and trials, inclusion and/or exclusion criteria should be given. In case-control studies, a case-definition and the source for controls should be given.</i>	Yes = 1 No = 0
4	<i>Are the interventions of interest clearly described? Treatments and placebo (where relevant) that are to be compared should be clearly described.</i>	Yes = 1 No = 0
5	<i>Are the distributions of principal confounders in each group of subjects to be compared clearly described? A list of principal confounders is provided.</i>	Yes = 2 Partially = 1 No = 0
6	<i>Are the main findings of the study clearly described? Simple outcome data (including denominators and numerators) should be reported for all major findings so that the reader can check the major analyses and conclusions. (This question does not cover statistical tests which are considered below).</i>	Yes = 1 No = 0
7	<i>Does the study provide estimates of the random variability in the data for the main outcomes? In non-normally distributed data the interquartile range of results should be reported. In normally distributed data the standard error, standard deviation or confidence intervals should be reported. If the distribution of the data is not described, it must be assumed that the estimates used were appropriate and the question should be answered yes.</i>	Yes = 1 No = 0
8	<i>Have all important adverse events that may be a consequence of the intervention been reported? This should be answered yes if the study demonstrates that there was a comprehensive attempt to measure adverse events. (A list of possible adverse events is provided).</i>	Yes = 1 No = 0
9	<i>Have the characteristics of patients lost to follow-up been described? This should be answered yes where there were no losses to follow-up or where losses to follow-up were so small that findings would be unaffected by their inclusion. This should be answered nowhere a study does not report the number of patients lost to follow-up.</i>	Yes = 1 No = 0
10	<i>Have actual probability values been reported (e.g. 0.035 rather than <0.05) for the main outcomes except where the probability value is less than 0.001?</i>	Yes = 1 No = 0
External validity		
11	<i>Were the subjects asked to participate in the study representative of the entire population from which they were recruited? The study must identify the source population for patients and describe how the patients were selected. Patients would be representative if they comprised the entire source population, an unselected</i>	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0

	sample of consecutive patients, or a random sample. Random sampling is only feasible where a list of all members of the relevant population exists. Where a study does not report the proportion of the source population from which the patients are derived, the question should be answered as unable to determine.	
12	<i>Were those subjects who were prepared to participate representative of the entire population from which they were recruited?</i> The proportion of those asked who agreed should be stated. Validation that the sample was representative would include demonstrating that the distribution of the main confounding factors was the same in the study sample and the source population.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
13	<i>Were the staff, places, and facilities where the patients were treated, representative of the treatment the majority of patients receive?</i> For the question to be answered yes the study should demonstrate that the intervention was representative of that in use in the source population. The question should be answered no if, for example, the intervention was undertaken in a specialist centre unrepresentative of the hospitals most of the source population would attend.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
Internal validity - bias		
14	<i>Was an attempt made to blind study subjects to the intervention they have received?</i> For studies where the patients would have no way of knowing which intervention they received, this should be answered yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
15	<i>Was an attempt made to blind those measuring the main outcomes of the intervention?</i>	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
16	<i>If any of the results of the study were based on "data dredging", was this made clear?</i> Any analyses that had not been planned at the outset of the study should be clearly indicated. If no retrospective unplanned subgroup analyses were reported, then answer yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
17	<i>In trials and cohort studies, do the analyses adjust for different lengths of follow-up of patients, or in case-control studies, is the time period between the intervention and outcome the same for cases and controls?</i> Where follow-up was the same for all study patients the answer should be yes. If different lengths of follow-up were adjusted for by, for example, survival analysis the answer should be yes. Studies where differences in follow-up are ignored should be answered no.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
18	<i>Were the statistical tests used to assess the main outcomes appropriate?</i> The statistical techniques used must be appropriate to the data. For example, nonparametric methods should be used for small sample sizes. Where little statistical analysis has been undertaken but where there is no evidence of bias, the question should be answered yes. If the distribution of the data (normal or not) is not described it must be assumed that the estimates used were appropriate and the question should be answered yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
19	<i>Was compliance with the intervention/s reliable?</i> Where there was non-compliance with the allocated treatment or where there was contamination of one group, the question should be answered no. For studies where the effect of any misclassification was likely to bias any association to the null, the question should be answered yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
20	<i>Were the main outcome measures used accurate (valid and reliable)?</i> For studies where the outcome measures are clearly described, the question should be	Yes = 1 No = 0

	answered yes. For studies which refer to other work or that demonstrates the outcome measures are accurate, the question should be answered as yes.	Unable to determine = 0
Internal validity - confounding (selection bias)		
21	<i>Were the patients in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited from the same population?</i> For example, patients for all comparison groups should be selected from the same hospital. The question should be answered unable to determine for cohort and case-control studies where there is no information	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
22	<i>Were study subjects in different intervention groups (trials and cohort studies) or were the cases and controls (case-control studies) recruited over the same period of time?</i> For a study which does not specify the time period over which patients were recruited, the question should be answered as unable to determine.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
23	<i>Were study subjects randomized to intervention groups?</i> Studies which state that subjects were randomized should be answered yes except where method of randomization would not ensure random allocation. For example alternate allocation would score no because it is predictable.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
24	<i>Was the randomized intervention assignment concealed from both patients and health care staff until recruitment was complete and irrevocable?</i> All non-randomized studies should be answered no. If assignment was concealed from patients but not from staff, it should be answered no.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
25	<i>Was there adequate adjustment for confounding in the analyses from which the main findings were drawn?</i> This question should be answered no for trials if: the main conclusions of the study were based on analyses of treatment rather than intention to treat; the distribution of known confounders in the different treatment groups was not described; or the distribution of known confounders differed between the treatment groups but was not taken into account in the analyses. In non-randomized studies if the effect of the main confounders was not investigated or confounding was demonstrated but no adjustment was made in the final analyses the question should be answered as no.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
26	<i>Were losses of patients to follow-up taken into account?</i> If the numbers of patients lost to follow-up are not reported, the question should be answered as unable to determine. If the proportion lost to follow-up was too small to affect the main findings, the question should be answered yes.	Yes = 1 No = 0 Unable to determine = 0
Power		
27	<i>Did the study have sufficient power to detect a clinically important effect where the probability value for a difference being due to chance is less than 5%? Sample sizes have been calculated to detect a difference of x% and y%.</i>	Size of smallest intervention group A: <n1 = 0 B: n1-n2 = 1 C: n3-n4 = 2 D: n5-n6 = 3 E: n7-n8 = 4 F: n8+ = 5

Annexe II : Score détaillé des articles sur la grille Downs and Black

	Leal Junior (2008)	Leal Junior (2009a)	Leal Junior (2010)	Vanin (2016)	De Oliveira (2017)
Rapport	6/11	6/11	8/11	6/11	6/11
1. Objectif	1	1	1	1	1
2. Outcomes	1	1	1	1	1
3. Critères inclusion/exclusion	1	1	1	1	1
4. Interventions et placebo	0	1	1	1	1
5. Variables confondantes	0	0	0	0	0
6. Résultats	1	1	1	0	0
7. Estimation de la variabilité aléatoire	1	1	1	1	1
8. Évènements indésirables	0	0	0	0	0
9. Description des caractéristiques des pertes de suivi	0	0	1	1	1
10. Valeurs de probabilité réelles	1	0	1	0	0
Validité externe	0/3	0/3	0/3	0/3	0/3
11. Représentation de la population source	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)
12. Validation de l'échantillon	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)
13. Personnels, lieux, installations	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)
Validité interne-biais	7/7	7/7	6/7	7/7	7/7
14. Participants aveugles	1	1	1	1	1
15. Evalueurs aveugles	1	1	1	1	1
16. Analyses non planifiées	1	1	1	1	1
17. Temps intervention-analyse	1	1	1	1	1
18. Tests statistiques	1	1	1	1	1
19. Respect des interventions	1	1	1	1	1
20. Outils de mesure (fiabilité-validité)	1	1	0	1	1
Validité interne-confondantes	3/6	3/6	4/6	5/6	4/6
21. Lieu de recrutement	1	1	1	1	1

22. Temps de recrutement	0 (NM)	0 (NM)	0 (NM)	1	0 (NM)
23. Randomisation	1	1	1	1	1
24. Dissimulation random jusqu'à recrutement	1	1	1	1	1
25. Prise en compte des variables confondantes	0 (NM)				
26. Abandons	0 (NM)	0 (NM)	1	1	1
Puissance	5/5	5/5	5/5	5/5	5/5
27. Puissance pour détecter un effet cliniquement important	5	5	5	5	5
Total	21/32	21/32	23/32	23/32	22/32

NM = non-mentionné

Annexe III : Grilles d'extraction des données

Leal Junior et al. (2008) :

Grille d'extraction des données	
Titre : Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes.	
Journal : Lasers Med Sci	Pays de publication du journal : USA
Auteurs : Leal Junior E. C. P. ; Brandal Lopes- Martins R. A. ; Manfredini Baroni B. ; De Marchi T. ; Taufer D. ; Sgandella Manfro D. ; Rech M. ; Danna V. ; Grosselli D. ; Abeche Generosi R. ; Labat Marcos R. ; Ramos L. ; Bjordal J. M.	Langue : Anglais
Numéro : 6 Volume : 24	Base de données : Pubmed
Date de publication : 2009	
Financement : Aucune mention sur le financement de l'article	
Cadre théorique	
Objectifs de l'étude	Investiguer si une longueur infrarouge de 830 nm pourrait avoir un effet sur la récupération musculaire chez un échantillon d'athlètes élités et s'il y a une différence entre ce traitement et un placebo.
Méthodologie	
Design	RCT, crossover
Aveugle	Double
Lieu de l'étude	Brésil
Référence des chercheurs/équipe	Doctorat (4), physiothérapeute (5), master en science (biologie)(2), master en pharmacologie (1), diplôme en éducation physique (2), maîtrise en science du mouvement humain (1)
Approbation par le comité d'éthique	Oui
Participants	
Calcul de la taille de l'échantillon	Pas mentionné
Nombre	9
Âge (moyenne)	Entre 18 et 36 ans (20.67 ± 2.96)
Genre	Masculin
Sport	Volleyball
Type de sportif	Professionnel, de la même équipe.
Critères d'inclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Jouer à un niveau professionnel minimum 2 ans.
Critères d'exclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Blessures antérieures au niveau des hanches, genoux et chevilles. • Moins de 80% de participations aux entraînements. • Utilisation de suppléments nutritionnels ou d'agents pharmaceutiques.
Photobiomodulation	
Couleur	Infrarouge
Type	Laser
Nbr de diode	1
Longueur d'onde	830 nm
Fréquence	Continu
Energie/diode	4 J/diode
Energie/cm ²	1428.57 J/cm ²

Puissance de sortie/ diode	100 mW/diode
Densité de puissance	35.71 W/cm ²
Taille du diode	0.0028 cm ²
Temps d'application par site	40 sec/site (400 sec au total pour les deux jambes)
Application	Contact direct, application stationnaire, 90° d'angle d'application
Temps avant effort	Effectué après les étirements et 3 min avant l'effort physique
Muscle touché	Droit fémoral des deux membres inférieurs, 5 points par jambes
Position du muscle	Pas mentionné
Appareil utilisé	Thera Lase, DMC Sao Carlos, Brésil
Protocole d'expérimentation	
Groupes	A : Session 1 (J1) : PBMT actif – Session 2 (J8) : Placebo B : Session 1 : Placebo – Session 2 : PBMT actif
Effort physique	Réalisé 2x (jour 1 et jour 8) au même moment de la journée. Activité physique de haute intensité interdite pendant la semaine entre les deux évaluations. Echauffement composé d'étirements (1x60 sec pour les principaux groupes musculaires des membres inférieurs). Puis, Wingate test (pédaler sur un vélo ergomètre le plus vite possible pendant 30 secondes contre une résistance de 7.5% du poids de l'athlète).
Outcomes	
CK	Mesure en initial et 3 minutes après l'effort physique, Prise de sang au niveau d'une veine de l'avant-bras dominant.
Résultats	
Abandons	Pas mentionné
Intention to treat	Pas mentionné
Créatinine kinase	PBMT-placebo : dim significative après 3 min.
Discussion	
Conclusion des auteurs	PBMT appliqué avant l'effort physique de haute intensité peut protéger les muscles contre un dommage mineur et contre les réactions inflammatoires suite à un exercice intense.
Limites de l'étude	N'évalue pas quel paramètre aurait plus d'effets.
Qualité	
Score Downs and Black	21

Leal Junior et al. (2009a) :

Grille d'extraction des données	
Titre : Comparaison between Single diode Low-level laser therapy (LLLT) and Led multi diode (cluster) therapy (LEDT) Applications before high-intensity Exercise	
Journal : Photomedicine and laser Surgery	Pays de publication du journal : USA
Auteurs : Leal Junior, E.C. P. ; Brandao Lopes-Martins R. A.; Manfredini Baroni, B.; De Marchi T. ; rossi, R. P. ; Grosselli, D. ; Abeche Generosi R. ; de Godoi V. ; Basso M. ; Mancalossi J. L. ; Bjordal J. M.	Langue : Anglais
Numéro : 4 / volume : 27	Base de données : Pubmed
Date de publication : 2009	
Financement : FAPESP (Fondation pour la protection de la recherche Sao Paolo). Pas de conflit d'intérêts.	
Cadre théorique	
Objectifs de l'étude	Comparer les effets d'une diode à laser (LLLT) à un groupe de diodes (LEDT) sur la fatigue physique, les dommages musculaires et la récupération lors d'une utilisation avant les exercices de haute intensité.
Méthodologie	
Design	RCT, crossover
Aveugle	Double
Lieu de l'étude	Brésil
Référence des Chercheurs/équipe	Master en physiothérapie (1), doctorat en pharmacologie (1), physiothérapeutes (7), éducateur physique (1), ingénieur en médecine du sport (1).
Approbation par le comité d'éthique	Oui
Participants	
Calcul de la taille de l'échantillon	Pas mentionné.
Nombre	8
Âge (moyenne)	Entre 17 et 20 ans (18.5 ± 0.93)
Genre	Masculin
Sport	Volleyball
Type de sportif	Effectuent des compétitions (après contact avec l'auteur, nous avons reçu la confirmation qu'ils faisaient tous de la compétition), de la même équipe.
Autres critères d'inclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Minimum 5 ans de pratique à ce niveau.
Critères d'exclusion	<ul style="list-style-type: none"> • Lésions musculo-squelettiques à la hanche, au genou ou à la cheville. • Participation à moins de 80% des entraînements de l'équipe. • Utilisation de complément alimentaire ou agents pharmacologiques.
Photobiomodulation	
Couleur	Infrarouge
Type	Laser
Nbr de diode	1
Longueur d'onde	810 nm
Fréquence	Continu

Energie/diode	6J/diode
Energie/cm2	4.5J/cm ²
Puissance de sortie/ diode	200mW/diode
Densité de puissance	5.50 W/cm ²
Taille du diode	0.0364 cm ²
Temps d'application/site	30 sec/site (60 sec au total)
Application	Contact direct, application stationnaire, 90° d'angle d'application
Temps avant effort	3 min avant l'effort.
Muscle touché	Droit fémoral des deux membres inférieurs, 2 points par jambes
Position du muscle	Pas mentionné
Appareil utilisé	Thor Laser, United Kingdom
Protocole d'expérimentation	
Groupes	A : Session 1 (J1) : LLLT actif – Session 2 (J8) : LEDT actif – Session 3 (J15) : Placebo B : Session 1 : LEDT actif – Session 2 : Placebo – Session 3 : LLLT actif C : Session 1 : Placebo – Session 2 : LLLT actif – Session 3 : LEDT actif
Effort physique	Réalisé 3x (jour 1, jour 8 et jour 15). Échauffement composé d'étirements (1x 60 sec pour les principaux groupes musculaires des membres inférieurs). Puis, Wingate test (pédaler sur un vélo ergomètre le plus vite possible pendant 30 secondes contre une résistance de 7.5% du poids de l'athlète).
Outcomes	
CK	Mesure en initial et 3 minutes après l'effort physique, Prise de sang au niveau d'une veine de l'avant-bras dominant.
Résultats	
Abandons	Pas mentionné
Intention to treat	Pas mentionné
Créatine kinase	LLLT- placebo : dim pas significative.
Discussion	
Conclusion des auteurs	D'après cette étude, la LLLT appliquée avant l'effort, pour ce protocole précis, n'a pas d'impact sur la performance. Même si les résultats pour le LEDT semblaient plus prometteurs, ça ne signifie pas que le LEDT est plus efficace que la LLLT. En effet, plusieurs études ont démontré que la LLLT avec un diamètre plus large et une meilleure cohérence, avait des résultats supérieurs au LEDT.
Limites de l'étude	Protocole expérimental avec peu de points d'irradiation pourrait être à l'origine des résultats négatifs (Wingate test implique beaucoup de muscles, or seul une petite partie du droit fémoral a été irradié). Petit échantillon.
Qualité	
Score Downs and Black	21

Leal Junior et al. (2010) :

Grille d'extraction des données	
Titre : Effect of low-level laser therapy (LLLT) in the development of exercise-induced skeletal muscle fatigue and changes in biochemical markers related to postexercise recovery	
Journal : Journal of orthopaedic & Sports Physical Therapy	Pays de publication du journal : USA
Auteurs : Leal Junior E.C. P.; Brandao Lopes-Martins R. A.; Frigo L.; De Marchi T. ; Rossi R. P. ; De Godoi V. ; Silva Tomazoni S. ; Perin Silva D. ; Basso M. ; Lotti Filho P. ; De Valls Corsetti F. ; V. Iversen V. ; Bjordal J. M.	Langue : Anglais
Numéro : 8 / Volume : 40	Base de données : Pubmed (recherche manuelle)
Date de publication : 2010	
Financement : Fonds de soutien à la recherche de l'université de Nove De Julho	
Cadre théorique	
Objectifs de l'étude	Investiguer si la PBMT peut avoir un effet sur le biceps brachial quant à la performance, au développement de la fatigue et sur les marqueurs biochimiques de la récupération post-exercice.
Méthodologie	
Design	RCT, crossover
Auveugle	Double
Lieu de l'étude	Brésil
Référence des Chercheurs/équipe	Doctorant en Physiothérapie (1), professeur associé en pharmacologie (1), professeur associé en biologie (1), étudiant en master de physiothérapie (1), étudiants en pharmacologie (2), stagiaires en médecine du sport (2), stagiaires au laboratoire du mouvement (2), (1) professeur associé en éducation physique (1), doctorant et Professeur en physiothérapie (1).
Approbation par le comité d'éthique	Oui
Participants	
Calcul de la taille de l'échantillon	Pas mentionné
Nombre	9
Âge (moyenne)	Entre 18 et 20 (18.6 ± 1.0)
Genre	Masculin
Sport	Volleyball
Type de sportif	Niveau national (après contact avec l'auteur, nous avons reçu la confirmation qu'ils faisaient tous de la compétition), de la même équipe.
Autres critères d'inclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Bonne santé. ● Minimum 3 ans de pratique à ce niveau.
Critères d'exclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Lésions musculo-squelettiques à l'épaule ou au coude. ● Participation à moins de 80% des entraînements de l'équipe durant les trois derniers mois. ● Utilisation de suppléments alimentaires ou agents pharmacologiques.
Photobiomodulation	
Couleur	Infrarouge
Type	Laser
Nbr de diode	5
Longueur d'onde	810 nm

Fréquence	Continu
Energie/diode	6 J/diode => 30 J pour la grappe de 5 diodes
Energie /cm ²	164.85 J/cm ²
Puissance de sortie/ diode	200 mW/diode => 1000 mW pour la grappe de 5 diodes
Densité de puissance	5.495 W/cm ²
Taille du diode	0.0364 cm ²
Temps d'application par site	30 sec (60 sec pour tous les sites)
Application	Contact direct, application stationnaire, 90° d'angle d'application
Temps avant effort	3 minutes avant effort physique
Muscle touché	Biceps du bras non dominant
Position du muscle	Non précisé
Appareil utilisé	Thor Photomedicine, United Kingdom
Protocole d'expérimentation	
Groupes	A : Session 1 (J1) : LLLT actif – Session 2 (J8) : placebo B : Session 1 : Placebo – Session 2 : LLLT actif
Effort physique	Temps de familiarisation avec l'exercice 2 semaines avant l'évaluation (3x15 répétitions). 75% de la MIVC pour la flexion du coude, avec haltères, sur un banc Scott avec une inclinaison de 45° (tronc-bras) et les genoux et hanches à 90°. Maximum de répétitions depuis l'extension complète, jusqu'à 90° de flexion, à vitesse maximale.
Outcomes	
CK	Infirmière qualifiée, à l'aveugle, effectue une prise de sang sur une veine de la face ventrale du bras. Avant l'effort, puis 5 minutes après l'effort.
CRP	Infirmière qualifiée, à l'aveugle, effectue une prise de sang sur une veine de la face ventrale du bras. Avant l'effort, puis 5 minutes après l'effort.
MIVC	Temps jusqu'à l'épuisement Nombres de répétitions effectuées
Résultats	
Abandons	0
Intention to treat	Pas mentionné
Créatinine kinase	PBMT-placebo : dim significative
CRP	PBMT-placebo : dim significative
MIVC	PBMT-placebo : augm significative
Discussion	
Conclusion des auteurs	La dose utilisée dans cette étude diminue significativement le développement d'une fatigue physique lors d'une tâche répétitive de flexion du coude résistée. Ceci suggère que la PBMT pourrait avoir un effet protecteur sur le développement de l'ischémie musculaire et des lésions musculaires induites par les exercices.
Limites de l'étude	Un seul muscle est impliqué dans le protocole de fatigue, ceci pose un problème de généralisation des résultats aux activités sportives plus complexes.
Qualité	
Score Downs and Black	23

Vanin et al. (2016) :

Grille d'extraction des données	
Titre : Pre-exercise infrared low-level laser therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and postexercise recovery in humans, what is the optimal dose?	
Journal : Photomedicine and laser surgery	Pays de publication du journal : USA
Auteurs : Adriane Aver Vanin; Thiago De Marchi; Shaiane Silva Tomazoni; Olga Tairova; Heliadora Leal Caslechi; Paulo de Tarso Camillo de Carvalho; Jan Magnus Bjordal; Ernesto Cesar Leal Junior	Langue : Anglais
Numéro : 10 / Volume : 34	Base de données : Cochrane Library et PEDro
Date de publication : 2016	
Financement : Les fonds n'ont eu aucun impact dans le design de l'étude, la collection des données et leur analyse, la décision de publier ou la préparation de l'article. Soutien financier par Multi Radiance Medical (producteur d'appareil de photobiomodulation) mais ils n'ont eu aucun impact sur l'étude et n'ont pas décidé des réglages. Il n'y a pas eu de conflit d'intérêt.	
Cadre théorique	
Objectifs de l'étude	Identifier la dose optimale pour une irradiation pre-exercice dans le but d'améliorer la performance et la récupération à travers de l'évaluation des marqueurs biochimiques relatifs aux dommages musculaires.
Méthodologie	
Design	RCT, avant-après
Aveugle	Double
Lieu de l'étude	Brésil
Références des chercheurs/équipe	Physiothérapeutes (7), maîtrise en science (2), doctorat en médecine (1), doctorat (6).
Approbation par le comité d'éthique	Oui
Participants	
Calcul de la taille de l'échantillon	Basé sur une étude précédente avec le même modèle expérimental et protocole d'exercices.
Nombre	28
Âge (moyenne)	Entre 18 et 35 ans (18.81 ± 0.8)
Genre	Masculin
Sport	Football
Type de sportif	Professionnels, de la même équipe
Autres critères d'inclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimum 80% de participation aux entraînements. ● Couleur de peau claire ou intermédiaire (selon l'échelle de Von Luschan). ● Consentement signé.
Critères d'exclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Historique de blessures musculo-squelettiques aux hanches, genoux durant les 2 derniers mois ou pendant l'étude. ● Utilisation d'agents pharmaceutiques ou suppléments nutritionnels. ● Fumeurs et alcooliques. ● Changement dans la pratique sportive par rapport au reste de l'équipe.
Photobiomodulation	

Couleur	Infrarouge
Type	Laser
Nombre de diode	5
Longueur d'onde	810 nm
Fréquence	Pas mentionné
Energie/diode	2 ou 6 ou 10 J/diode => 10 ou 30 ou 50 J pour la grappe de 5 diodes
Energie/cm2	54.95 ou 164.84 ou 274.73 J/cm ²
Puissance de sortie/diode	200 mW => 1000 mW pour la grappe de 5 diodes
Densité de puissance	5.495 W/cm ²
Taille du diode	0.0364 cm ²
Temps d'application par site	10 ou 30 ou 50 sec (60 ou 180 ou 300 sec pour tous les sites)
Application	Contact direct, application stationnaire, 90° d'angle d'application
Temps avant effort	2 min après MIVC, 3 min avant effort physique
Muscle touché	Quadriceps (jambe non dominante) ; 6 sites (2 médiaux, 2 latéraux, 2 centraux)
Position du muscle	Pas mentionné
Appareil utilisé	Thor Photomedicine, United Kingdom
Protocole d'expérimentation	
Groupes	A : 10 J B : 30 J C : 50 J D : 0 J 7 participants par groupe.
Effort physique	Echauffement 3x 60 sec d'étirement actif du quadriceps puis échauffement en pédalant sur un vélo statique 5min à 100 rpm sans résistance. Puis effort= 75 contractions excentriques isocinétiques (5 séries de 15 répétitions ; 30 secondes de pauses entre les séries ; vitesse de 60°/sec; 60° d'amplitude (entre 30° et 90° de flexion). Effectué sur dynamomètre. (Protocole basé sur une étude précédente)
Outcomes	
CK	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Prise de sang au niveau d'une veine de l'avant-bras
IL-6	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Prise de sang au niveau d'une veine de l'avant-bras
MIVC	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Dynamomètre (assis, flexion hanche 100°, flexion genou 60°), 3x 5 sec de contraction isométrique => la meilleure est retenue.
DOMS	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Mesure par algomètre et EVA.
Résultats	
Abandons	0
Intention to treat	Oui

CK	10 J-placebo-30 J : dim significative à 24, 48, 72 et 96 h 30 J- placebo : dim pas significative 50 J-placebo et 30 J : dim significative à 1, 24, 48, 72 h et 96 h
IL-6	10 J-placebo : dim significative à tous les temps 30 J-placebo : dim significative à 1 min, 1, 24, 48 et 72 h. 50 J-placebo : dim significative à 1 min, 1, 24, 48 et 72 h
MIVC	10 J-placebo : augm significative à 24, 48, 72 et 96h 30 J-placebo : augm pas significative 50 J-placebo : aug significative à 1 min, 1 et 24 h
DOMS	Aucune différence significative
Discussion	
Conclusion des auteurs	L'utilisation de la PBMT avant l'exercice améliore significativement le taux des marqueurs sanguins relatifs aux lésions musculaires et à l'inflammation. Des meilleurs résultats ont été observés pour 10 J et 50 J. Mais l'analyse global montre des meilleurs résultats a 50 J.
Limites de l'étude	Ils ne savent pas si les résultats liés à la MIVC sont dûs à une fatigue centrale ou périphérique. Il faudrait une investigation si le mélange des longueurs d'onde pouvait améliorer les DOMS car d'autres études ont montré que oui.
Qualité	
Score Downs and Black	23

De Oliveira et al. (2017) :

Grille d'extraction des données	
Titre : Pre-exercise infrared Photobiomodulation therapy (810 nm) in skeletal muscle performance and postexercise recovery in humans : What is the optimal output ?	
Journal: Photomedicine and laser Surgery	Pays de publication du journal : USA
Auteurs : Rodrigues De Oliveira A. ; Aver Vanin A. ; Silva Tomazoni S. ; Foschini Miranda E. ; Moes Albuquerque-Pontes G. ; De Marchi T. ; dos Santos Grandinetti V. ; Vicente de Paiva P. R. ; Gonçalves Imperatori T. B. ; de Tarso Camillo de Carvalho P. ; Bjordal J.M. ; Leal Junior E. C. P.	Langue : Anglais
Numéro : 11 / Volume : 35	Base de données : Pubmed
Date de publication : 2017	
Financement : Soutenu par une fondation de recherche. Soutien financier par Multi Radiance Medical (producteur d'appareil de photobiomodulation) mais n'ont eu aucun impact sur l'étude et n'ont pas décidé des réglages. Il n'y a pas eu de conflit d'intérêt. Ils ont eu également aucune influence sur le design de l'étude, la collection des données et leur analyse, la décision de publier ou la préparation de l'article.	
Cadre théorique	
Objectifs de l'étude	Évaluer les effets de la photobiomodulation sur la récupération sportive après un effort et identifier le meilleur réglage pour obtenir le meilleur effet.
Méthodologie	
Design	RCT, avant-après
Aveugle	Double
Lieu de l'étude	Brésil
Référence des Chercheurs/équipe	Physiothérapeutes (11), maîtrise en science (5), doctorat (6), éducateur physique (1)
Approbation par le comité d'éthique	Oui
Participants	
Calcul de la taille de l'échantillon	Basé sur une étude précédente avec le même modèle expérimental et protocole d'exercices.
Nombre	28
Âge (moyenne)	Entre 18 et 35 ans (18.62 ± 0.73)
Genre	Masculin
Sport	Football
Type de sportif	Haut niveau, effectuant des compétitions (après contact avec l'auteur, nous avons reçu la confirmation qu'ils faisaient tous de la compétition) et de la même équipe.
Autres critères d'inclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Minimum 80% de participation aux entraînements de l'équipe. ● Consentement signé.
Critères d'exclusion	<ul style="list-style-type: none"> ● Histoire de blessures musculo-squelettiques au niveau de la hanche ou des genoux durant les 2 derniers mois et/ou pendant l'étude. ● Utilisation d'agents pharmaceutiques ou suppléments nutritionnels. ● Quelconque changement dans la pratique sportive par rapport au reste de l'équipe.
Photobiomodulation	
Couleur	Infrarouge
Type	Laser

Nbr de diode	5
Longueur d'onde	810 nm
Fréquence	Continu
Energie /diode	10 J/diode => 50 J pour la grappe de 5 diodes
Energie/cm2	275 J/cm ²
Puissance de sortie/ diode	100 ou 200 ou 400 mW => 500 ou 1000 ou 2000 mW pour la grappe de 5 diodes
Densité de puissance	2.75 ou 5.5 ou 11 W/cm ²
Taille du diode	0.0364 cm ²
Temps d'application/site	100 sec ou 50 sec ou 25 sec /site (500 sec ou 250 sec ou 125 sec au total)
Application	Contact direct, application stationnaire, 90° d'angle d'application
Temps avant effort	2 min après MIVC, 3 min avant effort physique
Muscle touché	Quadriceps (jambe non dominante) ; 6 sites (2 médiaux, 2 latéraux, 2 centraux)
Position du muscle	Genou à 90° de flexion
Appareil utilisé	Thor Photomedicine, United Kingdom
Protocole d'expérimentation	
Groupes	A : 100 mW B : 200 mW C : 400 mW D : 0 mW (placebo) 7 participants par groupe.
Effort physique	75 contractions excentriques isocinétiques (5 séries de 15 répétitions ; 30 secondes de pauses entre les séries ; vitesse de 60°/sec ; 60° d'amplitude (entre 30° et 90° de flexion)). Effectué sur dynamomètre. (Protocole basé sur une étude précédente)
Outcomes	
CK	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Prise de sang au niveau d'une veine de l'avant-bras.
IL-6	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Prise de sang au niveau d'une veine de l'avant-bras
MIVC	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Dynamomètre (assis, flexion hanche 100°, flexion genou 60°), 3x 5 sec de contraction isométrique => la meilleure est retenue.
DOMS	Mesure en initial, 1 min après effort, 1h, 24h, 46h, 72h, 96h. Mesure par algomètre et EVA.
Résultats	
Abandons	0
Intention to treat	Oui
CK	100 mW-placebo et 200 mW et 400 mW : dim significative à 24h, 48h, 72h, 96h 200 mW-placebo et 400 mW : dim significative à 24h, 48h, 72h, 96h
IL-6	100 mW-placebo et 400 mW : dim significative à tous les temps 200 mW-placebo et 400 mW : dim significative à tous les temps

MIVC	100 mW-placebo : augm significative à tous les temps 200 mW-placebo : augm significative à tous les temps sauf 48 h (en % pas à partir de 48 h non plus)
DOMS	Algomètre : 100 mW-placebo : dim significative à 1 min, 1 h, 24 h, 48 h 200 mW-placebo : dim significative à 1 min, 1 h, 24 h 400 mW-placebo : dim significative à 1 min, 1 h, 24 h EVA : 100 mW-placebo : dim significative à 1 min, 1 h 200 mW-placebo : dim significative à 1 min, 1 h 400 mW-placebo : dim significative à 1 min, 1 h, 24 h
Discussion	
Conclusion des auteurs	La PBMT utilisée avec ces réglages cités plus haut, avant l'effort physique, augmente de manière significative le pic de force après l'effort au travers de la MIVC, diminue les DOMS et diminue les taux des marqueurs biologiques relatifs aux dommages musculaires et à l'inflammation. Des meilleurs résultats ont été observés pour les réglages à 100 ou 200 mW (/diode), ce qui montre que les hauts réglages ne sont pas la meilleure option.
Limites de l'étude	Pas de limites mentionnées.
Qualité	
Score Downs and Black	22

Annexe IV : Tableau justificatif des causes d'exclusion des articles

Justifications	Articles exclus	
	1 ^{er} auteur, année	Titre
Titre hors sujet	Nédélec, 2015	Sleep hygiene and recovery strategies in elite soccer Players.
	Postolache, 2005	Circadian phase shifting, alerting, and antidepressant effects of bright light treatment.
Revue de la littérature	Ferraresi, 2016	Photobiomodulation in human muscle tissue: an advantage in sports performance?
Etude faites sur des animaux	Sussai, 2010	Low level laser therapy attenuates creatine kinase levels and apoptosis during forced swimming in rats.
	De Almeida, 2011	Low-level laser therapy improves skeletal muscle performance, decreases skeletal muscle damage and modulates mRNA expression of COX-1 and COX-2 in a dose dependent manner.
Population non sportive	Vieira, 2012	Effects of low-level laser therapy (808 nm) on isokinetic muscle performance of young women submitted to endurance training: a randomized controlled trial.
	Miranda, 2018	When is the best moment to apply photobiomodulation therapy when associated to a treadmill endurance-training program?
	Machado, 2017	Effect of low-level laser therapy and light-emitting diodes applied during combined training on performance and post-exercise recovery
	De Marchi, 2017	Phototherapy for improvement of performance and exercise recovery: comparison of 3 commercially available devices.
	Hemmings, 2017	Identifying dosage effect of light emitting diode therapy on muscular fatigue in quadriceps.
	Leal Junior, 2018	Local and Systemic Effects of Photobiomodulation Therapy on Muscle Performance and Recovery Post-exercise.
Photobiomodulation effectuée après l'effort	Denis, 2013	The effects of light emitting diode therapy following high intensity exercise.
	Leal Junior, 2011	Comparison between cold water immersion therapy (CWIT) and light emitting diode therapy (LEDT) in short-term skeletal muscle recovery after high-intensity exercise in

		athletes.
Outcomes: évaluation de la performance uniquement	Lanferdini, 2018	Improvement of performance and reduction of fatigue with low level laser therapy in competitive cyclists.
	Dellagrana, 2018	Photobiomodulation Therapy on Physiological and Performance Parameters During Running Tests: Dose-Response Effects.
Outcomes: mesure de lactate uniquement	Leal Junior, 2009	Effect of 830 nm low-level laser therapy in exercise-induced skeletal muscle fatigue in humans.
Protocole sans résultats	De Oliveira, 2014	What is the ideal dose and power output of low-level laser therapy (810 nm) on muscle performance and post-exercise recovery? Study protocol for a double-blind, randomized, placebo-controlled trial.
Utilisation de LED	Ferraresi, 2015	Muscular pre-conditioning using light-emitting diode therapy (LEDT) for high-intensity exercise: a randomized double blind placebo-controlled trial with a single elite runner.
	Leal Junior, 2009	Effect of cluster multi diode light emitting diode therapy on exercise induced skeletal muscle fatigue and skeletal muscle recovery in humans.
Utilisation de LED couplés à des lasers	Pinto, 2016	Photobiomodulation therapy improves performance and accelerates recovery of high-level rugby players in field test.
	De Marchi, 2019	Photobiomodulation therapy before futsal matches improves the staying time of athletes in the court and accelerates post-exercise recovery.
Longueur d'onde différente	Leal Junior, 2008	Effect of 655-nm low level laser therapy on exercise-induced skeletal muscle fatigue.
	Blasotto, 2018	Photobiomodulation On Muscle Recovery In Professional Soccer Players.
Puissance différente	Dos Reis, 2014	Effect of pre- or post exercise low level laser therapy (830 nm) on skeletal muscle fatigue and biochemical markers of recovery in humans: double blind placebo controlled trial.

Exclusion à la lecture du titre
Exclusion à la lecture du résumé
Exclusion à la lecture de l'article en entier

Annexe V : Tableau récapitulatif des résultats à la mesure de la MIVC

MIVC		PRE	1 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h		
VANIN ET AL. (2016)	Placebo	Absolue (N.m.)	249.90±22.65	228.14±13.57	213.86±29.00	247.40±11.40	249.72±28.28	243.86±12.41	256.86±8.52	
		Relative (%)	100±9.06	91.29±5.95	85.58±13.56	98.99±4.61	99.92±11.32	97.58±5.08	102.78±3.32	
	10 J	Absolue (N.m.)	253.32±24.53	226.67±15.35	238.41±10.00	286.77±22.78*	294.31±21.75*	292.08±20.71*	305.57±23.30*	
		Relative (%)	100±9.68	89.47±6.77	94.11±4.19	113.20±7.94*	116.18±7.39*	115.30±7.09*	120.63±7.62*	
	30 J	Absolue (N.m.)	246.79±23.61	220.83±24.00	215.91±6.36	223.44±9.23	242.11±7.90	228.44±12.73	240.79±18.72	
		Relative (%)	100±9.56	89.48±10.87	87.49±2.94	90.54±4.13	98.14±3.26	92.56±5.57	97.57±7.77	
	50 J	Absolue (N.m.)	249.78±15.71	259.04±19.43*	262.17±20.08*	275.97±12.21*	261.92±27.32	270.07±13.43	281.22±22.14	
		Relative (%)	100±6.29	103.71±7.50*	104.96±7.66*	110.48±4.42*	104.86±10.43	108.12±4.97	112.59±7.87	
	DE OLIVEIRA ET AL. (2017)	Placebo	Absolue (N.m.)	239.76±24.02	195.14±11.77	196.80±13.93	220.89±15.79	224.25±14.42	225.93±13.94	227.29±14.27
			Relative (%)	100.00±10.02	81.39±6.03	82.08±7.08	92.13±7.15	93.53±6.43	94.23±6.17	94.80±6.28
		100 mW	Absolue (N.m.)	242.78±28.24	224.23±16.93*	224.91±16.71*	249.87±12.57*	262.42±13.80*	265.38±15.66*	271.53±15.59*
			Relative (%)	100.00±11.63	92.36±7.55*	92.64±7.43*	102.92±5.03*	108.09±5.26*	109.31±5.90*	111.84±5.74*
200 mW		Absolue (N.m.)	245.42±24.10	238.77±16.67*	242.70±17.21*	248.51±15.68*	245.89±18.47	251.11±14.31*	258.97±14.97*	
		Relative (%)	100.00±9.82	97.29±6.98*	98.89±7.09*	101.26±6.31	100.19±7.51	102.32±5.70	105.52±5.78*	

* = Statistiquement différent du placebo (p<0.05).

Annexe VI : Tableaux récapitulatifs des résultats aux évaluations des DOMS

		ECHELLE VISUELLE ANALOGIQUE						
		PRE	1 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h
VANIN ET AL. (2016)	Placebo	0.00±0.00	68.30±17.20	21.39±20,31	45.00±30.20	25.00±13.80	18.30±11.70	29.78±30.75
	10 J	0.00±0.00	43.33±15.05	32.17±19.92	41.66±32.50	26.66±30.11	28.33±30.60	50.78±29.79
	30 J	0.00±0.00	48.00±8.40	58.00±14.80	46.00±20.70	46.00±24.10	30.00±21.20	28.00±27.70
	50 J	0.00±0.00	48.00±13.03	52.00±19.23	44.00±24.08	48.00±33.46	28.00±19.23	22.50±22.17
DE OLIVEIRA ET AL. (2017)	Placebo	0.00±0.00	69.40±13.30	72.30±12.10	47.40±14.40	28.30±11.50	20.40±11.90	15.80±9.80
	100 mW	0.0±0.0	34.20±14.40*	45.70±13.10*	30.80±14.00	45.80±13.50	31.30±12.90	32.00±14.30
	200 mW	0.0±0.0	46.20±11.01*	52.30 ± 13.33*	42.70±14.81	41.30±13.64	27.30±14.53	21.10±12.15

* = Statistiquement différent du placebo (p<0.05).

		AIGOMETRE						
		PRE	1 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h
VANIN ET AL. (2016)	Placebo	30.00±5.5 2	28.53±7.6 6	27.06±10. 64	30.93±10. 46	31.26±12. 86	33.40±11. 98	34.80±14. 19
	10 J	27.85±29. 78	25.65±10. 76	24.38±5.7 3	26.09±6.8 5	29.62±11. 34	27.90±8.1 3	28.14±7.0 1
	30 J	28.67± 5.28	26.07±6.2 8	20.00±1.2 0	20.87±5.6 6	25.53±4.0 5	31.13±6.8 8	33.00±7.6 8
	50 J	24.13±12. 21	25.06±11. 02	25.13±11. 17	24.31±10. 43	26.60±8.9 8	29.60±12. 44	26.25±10. 13
OLIVEIRA ET AL. (2017)	Placebo	13.80±2.4 0	7.10±2.50	7.90±1.58	8.88±2.04	9.19±1.78	10.06±1.9 6	10.88±2.5 9
	100 mW	15.17±1.2 8	14.02±1.6 3*	12.29±2.6 8*	12.32±2.9 1*	12.69±2.6 2*	12.74±2.8 9	13.90±2.4 1
	200 mW	13.72±2.0 2	12.35±2.1 2*	12.83±2.3 0*	12.55±1.7 6*	10.42±2.6 3	10.38±1.9 7	12.67±2.6 3

* = Statistiquement différent du placebo (p<0.05).