

Les auteurs ne déclarent
aucun conflit d'intérêts
financier ou personnel
en rapport avec cet article.

Article reçu en janvier 2020,
accepté en mars 2020

Effets de la photobiomodulation sur la récupération sportive chez les athlètes – revue de la littérature

Effects of the photobiomodulation on sports recovery of the athletes – systematic review

Xavier Fluri¹ (PT, Bsc), Sabine Rey² (PT, Bsc), Vito Portuesi^{3,4} (PT, Bsc)

MOTS-CLÉS

Athlètes / photobiomodulation / récupération / sport / fatigue / douleurs musculaires d'apparition retardée / marqueurs biologiques

KEYWORDS

Athlete / photobiomodulation / recovery / sport / tiredness / delayed onset muscle soreness / biological markers

RÉSUMÉ

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

Objectif: Les objectifs de cette revue de la littérature consistaient à apprécier l'efficacité d'une séance de photobiomodulation, appliquée en prévention d'un effort physique, sur la récupération des athlètes effectuant des compétitions. Il s'agissait également d'élaborer des recommandations pour la pratique des physiothérapeutes.

Méthode: Une recherche documentaire a été effectuée dans les bases de données Cinhal, Pubmed, PEDro et Cochrane Library entre septembre 2018 et mars 2019. Les articles devaient évaluer la récupération sportive par le biais de la mesure des douleurs musculaires d'apparition retardée, des taux sanguins des marqueurs biologiques des lésions musculaires et de l'inflammation, ou par le biais de la fatigue physique.

Résultats: Cinq articles ont été sélectionnés. Quatre ont montré une amélioration significative de la récupération après la séance de photobiomodulation.

Discussion/conclusion: Les résultats montrent 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. Une séance de photobiomodulation, effectuée en prévention avec les paramètres sélectionnés dans cette revue, semble améliorer la récupération des athlètes.

ABSTRACT

Introduction: Recovery time is very important in the training plan of athletes to improve their performance and to avoid overtraining. Photobiomodulation – a technology based on the use of sources of monochromatic light at a specific wavelength and power, which targets a biological mechanism – would be a useful method to improve the recovery time.

Objective: The purpose of this literature review was to assess the effect of a photobiomodulation session used during prevention of physical effort on the recovery of athletes and to offer recommendations for physiotherapy practice.

Method: A literature search was conducted using the CINHAL, PubMed, PEDro and Cochrane library databases between September 2018 and March 2019. Articles that assessed sports recovery through the measurement of delayed onset muscle soreness, blood levels of biomarkers of muscle lesions and inflammation, or physical fatigue were included.

Results: Five articles were selected. Four of these reported a significant improvement in recovery following the photobiomodulation session.

Discussion/conclusion: The results suggested a general improvement in sports recovery. However, some parameters must be adapted to the selected effort, specific characteristics of the sport, and target population. A photobiomodulation session carried out in accordance with the parameters selected in this review improves the recovery of athletes.

Mains Libres 2020; 2:69-77

En ligne sur: www.mainslibres.ch

¹ Cabinet ITS, Fribourg, Suisse

² CHUV, Lausanne, Suisse

³ Physiothérapeute, HESAV Haute Ecole de Santé Vaud, HES-SO Haute Ecole Spécialisée de Suisse Occidentale, Lausanne, Suisse

⁴ Physiothérapeute, Service de Physiothérapie Cardio-Respiratoire, Département des Services de Chirurgie et d'Anesthésiologie, CHUV-UNIL, Lausanne, Suisse

INTRODUCTION

Les performances physiques des athlètes peuvent être influencées par plusieurs facteurs tels qu’une alimentation adaptée, un bon encadrement médical ou encore des entraînements de qualité⁽¹⁾. Il est admis qu’un entraînement comportant une charge suffisamment importante peut mener à l’amélioration de la performance⁽²⁾. Cependant, il faut également prendre en compte la gestion de la fréquence des entraînements. En effet, il est nécessaire que ceux-ci soient accompagnés d’un temps de récupération suffisant afin d’éviter l’état de surentraînement⁽³⁾. L’optimisation de la récupération permettrait alors aux athlètes de supporter des charges d’entraînements élevées, sans pour autant s’accompagner des conséquences négatives du surentraînement⁽⁴⁾. Plusieurs moyens de récupération sont déjà régulièrement utilisés, comme la cryothérapie, les étirements, l’électrothérapie ou encore les massages. Cependant la littérature scientifique reste très controversée sur ces différentes méthodes^(5,6). La photobiomodulation (PBMT) est une nouvelle technique de récupération qui commence à faire son apparition sur le marché suisse. Son principe repose sur l’utilisation de sources lumineuses monochromatiques générées par des diodes amplificatrices de lumière par émission stimulée de radiation (laser) ou par des diodes électroluminescentes (LED), d’une longueur d’onde et puissance spécifiques. Ces sources lumineuses seraient capables d’induire des mécanismes photobiochimiques ciblés permettant 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⁽⁷⁾. Son mécanisme d’action repose sur l’absorption de la lumière émise par des chromophores, molécules présentes au sein des mitochondries et des membranes cellulaires et appelées cytochromes c-oxydases. Les mitochondries stimulées provoquent une chaîne de réactions biochimiques, provoquant ainsi une génération de dérivés réactifs de l’oxygène, molécules importantes pour le signallement cellulaire. En effet, ils régulent la synthèse d’acide nucléique, de protéines, et activent certaines enzymes favorisant ainsi la progression du cycle cellulaire. Cette action va, par la suite, engendrer une multitude de réactions basées principalement sur la transmission de signaux entre les cellules⁽⁸⁾. Préventive et curative, cette nouvelle technologie non-invasive semble prometteuse. Plusieurs revues de la littérature ont déjà mis en avant sa possible efficacité pour améliorer la performance et diminuer la fatigue physique⁽⁹⁻¹²⁾. Cependant, celles-ci utilisent des populations hétérogènes, composées de participants tant entraînés que sédentaires. Elles mélangent également plusieurs paramètres de mesure et reposent sur des applications de PBMT variées. Par conséquence, ces différents travaux donnent des résultats hétérogènes voire même contradictoires. À ce jour, il n’existe aucune revue de la littérature concernant les effets de la PBMT délivrée sous forme de laser, sur la récupération physique d’une population athlétique. C’est pourquoi l’objectif de cette revue de la littérature consistait à apprécier les effets de la PBMT, appliquée en amont d’un effort physique, sur la récupération sportive d’un athlète de haut niveau. Plus précisément, il s’agissait d’analyser les effets de cette technique sur les douleurs musculaires d’apparition retardée, sur les marqueurs biologiques relatifs à la récupération et sur la fatigue physique. Cette revue permettrait, également, d’élaborer des recommandations pour la pratique professionnelle des physiothérapeutes souhaitant utiliser cette technologie.

MÉTHODE

Afin de sélectionner les articles composant cette revue de la littérature, une recherche documentaire a été effectuée sur les bases de données Pubmed, Cinhal, Pedro et Cochrane library entre le 24 septembre 2018 et le 31 mars 2019. Les équations de recherche utilisées sont citées dans le tableau 1.

Tableau 1

Équations de recherche utilisées dans les différentes bases de données

Bases de données	Équations de recherche avec les termes Mesh des différentes bases de données
Cinhal	(MH "Muscle fatigue" or MH "physical performance" or MH "recovery" or MH "recovery, exercise") And (MH "Athletes" + or MH "sports" +) And MH "phototherapy"
Pubmed	("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

Les références des articles sélectionnés ont fait l’objet d’une recherche manuelle afin d’obtenir de potentiels autres articles admissibles. Seuls les essais randomisés contrôlés (RCT) publiés entre 2008 et mars 2019, évaluant l’efficacité de la PBMT (sous forme de laser) sur la récupération sportive d’athlètes compétiteurs de 18 à 45 ans et comparés à un groupe contrôle placebo, ont été considérés comme éligibles. La notion de compétition a permis de s’assurer de l’exécution régulière d’efforts physiques de haute intensité. Quant à la fourchette d’âge, elle s’explique par un besoin d’homogénéité de capacité musculaire des participants, sachant qu’une diminution naturelle de la masse musculaire est observée chez les plus de 45 ans⁽¹³⁾. La séance de photobiomodulation devait être appliquée avant l’effort physique avec des paramètres précis, sélectionnés en fonction de ceux qui ont démontré, dans la littérature, le plus d’effets positifs sur la récupération après un effort physique sur toute population confondue. Ceux-ci sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2

Paramètres de photobiomodulation, accompagnés des unités de mesures, pouvant être utilisés pour qu’une étude soit considérée comme éligible pour cette revue

Type de diode	Laser
Longueur d’onde, nm	750-900
Puissance, mW/diode	100-200
Application	Direct sur la peau
Mode	Continu

L’effort physique, quant à lui, devait s’accompagner d’une modification des taux sanguins de créatine kinase (CK), de protéine c-réactive (PCR) ou d’interleukine 6 (IL-6), afin de s’assurer que l’effort ait été suffisant pour induire des

modifications biologiques. La récupération devait être estimée par une évaluation des dommages musculaires d'apparition retardée réalisée à l'aide d'une échelle visuelle analogique (EVA) ou d'un algomètre à pression; ou encore par les taux sanguins de marqueurs biologiques des lésions musculaires (CK) et de l'inflammation (PCR, IL-6); ou par la fatigue physique estimée au moyen d'une mesure de la force associée à une contraction maximale volontaire isométrique (CMVI).

Afin d'évaluer la qualité méthodologique des articles retenus, l'échelle de Downs and Black appendix de 1998 a été utilisée. Cette grille a permis d'évaluer le design, la

validité externe, la validité interne, les biais, les valeurs confondantes et la puissance des articles.

RÉSULTATS

Suite aux recherches effectuées sur les bases de données et les recherches manuelles, 37 études sont ressorties. Le processus de recherche effectué est présenté en figure 1.

Description des articles

Les cinq articles sélectionnés sont présentés dans le tableau 3.

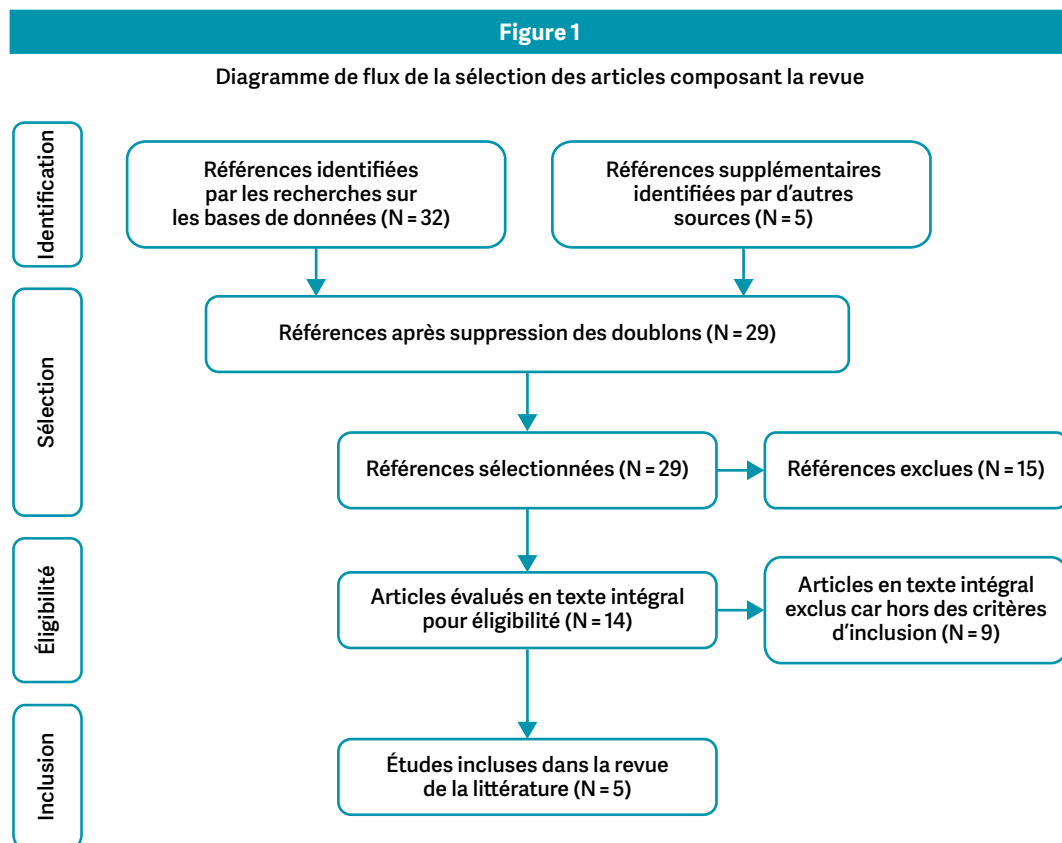


Tableau 3

Description des articles sélectionnés

1 ^{er} auteur date	Echantillon	Fréquence (nm)	Puissance /diode (mW)	Temps/point (s)	Dose/diode (J)	Nombre de diodes	Muscle	Nombre application /muscle	Variables mesurées temps de mesure
De Oliveira 2017	28	810	100	100	10	5	Quadriceps	6	CK, IL-6, CMVI, EVA, algomètre à pression
		810	200	50	10	5	Quadriceps	6	
Vanin 2016	28	810	200	10	2	5	Quadriceps	6	1 min, 1 h, 24 h, 48 h, 72 h, 96 h après l'effort
		810	200	30	6	5	Quadriceps	6	
		810	200	50	10	5	Quadriceps	6	
Leal Junior 2010	8	810	200	30	6	5	Biceps	2	CK, PCR 5 min après l'effort
Leal Junior 2009	9	810	200	30	6	1	Droit fémoral	2	CK
Leal Junior 2008	8	830	100	40	4	1	Droit fémoral	5	3 min après l'effort

La taille des échantillons des études était comprise entre 8 et 28 participants⁽¹⁴⁻¹⁸⁾. Ce qui donne une population totale de 82 sujets masculins présentant, selon les articles, des moyennes d'âge de 18.5 à 20.67 ans. Tous les participants faisaient partie d'équipes de volleyball⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ ou de football^(17,18) brésiliennes. Tous étaient des compétiteurs réguliers et devaient avoir un taux de participation de 80% aux entraînements. Plusieurs études ont demandé un temps minimum de pratique variant entre deux et cinq ans⁽¹⁴⁻¹⁶⁾. Les sportifs qui avaient subi une blessure au niveau du membre visé étaient systématiquement exclus de l'étude. L'exclusion était aussi appliquée pour les athlètes qui avaient utilisé des suppléments nutritionnels ou des agents pharmaceutiques. Dans certaines études, un changement dans la routine d'entraînement^(17,18) et la consommation d'alcool et de tabac⁽¹⁷⁾ étaient également des facteurs d'exclusion. Seuls Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾ spécifiaient que les athlètes devaient présenter une couleur de peau «claire» ou «intermédiaire» estimée à partir de l'échelle chromatique de Von Luschan. Si pour toutes les études l'intervention était délivrée sous forme de laser, les autres paramètres ont toutefois variés (cf. tableau 3). L'intervention placebo, présente dans toutes les études, consistait quant à elle, à effectuer la séance de PBMT avec l'appareil réglé sur 0 pour tous les paramètres. Les cinq articles font état d'efforts

physiques différents exécutés 3 minutes après l'irradiation. Pour deux études, le protocole consistait à réaliser 3 séries de 15 répétitions de contractions excentriques du quadriceps, exécutées sur un dynamomètre isocinétique^(17,18) à la vitesse de 60°/seconde et une amplitude de mouvement de 60° (entre 30 et 90° de flexion de genou). Le Wingate test, effectué sur un cycloergomètre, a été utilisé comme protocole d'effort dans deux autres études^(14,16). Le but de ce test est de pédaler le plus vite possible pendant 30 s contre une résistance fixée à 7.5% du poids de l'athlète. Quant à la dernière étude, il a été demandé aux athlètes d'effectuer des flexions du coude avec une amplitude allant de l'extension complète à 90° de flexion contre une charge fixée à 75% de la CMVI à vitesse maximale et ce le plus longtemps possible⁽¹⁵⁾.

Résultats des variables mesurées

Deux des cinq articles examinaient l'effet de la PBMT sur les douleurs musculaires d'apparition retardée à l'aide d'une EVA et d'un algomètre à pression. De Oliveira *et al.*⁽¹⁷⁾ ont révélé une diminution significative des douleurs, à l'aide de l'EVA, dans les groupes avec une puissance de 100 mW et 200 mW, uniquement après 1 min et 1 h d'effort, par rapport au groupe placebo. Les mesures de l'algomètre à pression ont par ailleurs démontré que l'augmentation significative de la

Tableau 4

Résultats des douleurs musculaires d'apparition retardée (moyenne ± écart type)

		Echelle visuelle analogique (mm)						
		PRE	1 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h
DE OLIVEIRA <i>et al.</i> (2017)	Plac.	0.0 ± 0.0	69.4 ± 13.3	72.3 ± 12.1	47.4 ± 14.4	28.3 ± 11.5	20.4 ± 11.9	15.8 ± 9.8
	100 mW	0.0 ± 0.0	34.2 ± 14.4*	45.7 ± 13.1*	30.8 ± 14.0	45.8 ± 13.5	31.3 ± 12.9	32.0 ± 14.3
	200 mW	0.0 ± 0.0	46.2 ± 11.0*	52.3 ± 13.3*	42.7 ± 14.8	41.3 ± 13.6	27.3 ± 14.5	21.1 ± 12.1
VANIN <i>et al.</i> (2016)	Plac.	0.0 ± 0.0	68.3 ± 17.2	21.4 ± 20.3	45.0 ± 30.2	25.0 ± 13.8	18.3 ± 11.7	29.8 ± 30.7
	2 J	0.0 ± 0.0	43.3 ± 15.0	32.2 ± 19.9	41.7 ± 32.5	26.7 ± 30.1	28.3 ± 30.6	50.8 ± 29.8
	6 J	0.0 ± 0.0	48.0 ± 8.4	58.0 ± 14.8	46.0 ± 20.7	46.0 ± 24.1	30.0 ± 21.2	28.0 ± 27.7
	10 J	0.0 ± 0.0	48.0 ± 13.0	52.0 ± 19.2	44.0 ± 24.1	48.0 ± 33.5	28.0 ± 19.2	22.5 ± 22.2
		Algomètre à pression (lb)						
DE OLIVEIRA <i>et al.</i> (2017)	Plac.	13.8 ± 2.4	7.1 ± 2.5	7.9 ± 1.6	8.9 ± 2.0	9.2 ± 1.8	10.1 ± 2.0	10.9 ± 2.6
	100 mW	15.2 ± 1.3	14.0 ± 1.6*	12.3 ± 2.7*	12.3 ± 2.9*	12.7 ± 2.6*	12.7 ± 2.9	13.9 ± 2.4
	200 mW	13.7 ± 2.0	12.3 ± 2.1*	12.8 ± 2.3*	12.5 ± 1.8*	10.4 ± 2.6	10.4 ± 2.0	12.7 ± 2.6
VANIN <i>et al.</i> (2016)	Plac.	30.0 ± 5.5	28.5 ± 7.7	27.1 ± 10.6	30.9 ± 10.5	31.3 ± 12.9	33.4 ± 11.9	34.8 ± 14.2
	2 J	27.8 ± 29.8	25.6 ± 10.8	24.4 ± 5.7	26.1 ± 6.8	29.6 ± 11.3	27.9 ± 8.1	28.1 ± 7.0
	6 J	28.7 ± 5.3	26.1 ± 6.3	20.0 ± 1.2	20.9 ± 5.7	25.5 ± 4.0	31.1 ± 6.9	33.0 ± 7.7
	10 J	24.1 ± 12.2	25.1 ± 11.0	25.1 ± 11.2	24.3 ± 10.4	26.6 ± 9.0	29.6 ± 12.4	26.3 ± 10.1

* significatif (P < 0.05). Plac.: placebo

pression nécessaire pour créer la première douleur au niveau du muscle traité, par rapport au groupe placebo, n'était présente que jusqu'à 48 h post-exercice pour le groupe de 100 mW. Les résultats de Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾ n'ont pas permis de détecter une augmentation ou une diminution statistiquement significative sur ce paramètre. Les résultats précis concernant les douleurs musculaires d'apparition retardée sont présentés dans le tableau 4.

En ce qui concerne la Créatine kinase, dans les études de Leal Junior *et al.* de 2008 et de 2010^(14,15), une diminution significative entre le groupe traité par laser et le groupe placebo était observée. L'étude de Leal Junior *et al.* de 2009⁽¹⁶⁾, quant à elle, n'a pas permis de mettre en évidence une diminution statistiquement significative de ce paramètre entre le groupe

traité par PBMT et le groupe placebo. En analysant le sang des athlètes à 1 min, 1 h, 24 h, 48 h, 72 h et 96 h post-effort, De Oliveira *et al.*⁽¹⁷⁾ ont repéré, dans les groupes traités à 100 mW et 200 mW, une diminution significative du taux de CK, par rapport au placebo, à partir de 24 h jusqu'à 96 h; alors que Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾ ont observé une diminution significative uniquement dans les groupes traités à 2 J/diode, entre 24 h et 96 h, et dans celui de 10 J/diode, dès 1 h post-exercice. Aucune diminution significative n'a été observée chez les participants traités à 6 J/diode par rapport au groupe placebo. Seuls Leal Junior *et al.* 2010⁽¹⁵⁾ ont choisi d'examiner la protéine C-Réactive (PCR) dont le taux mesuré après 5 min d'effort était significativement plus bas chez les sportifs avec la séance de PBMT par rapport aux sportifs qui ont eu une séance placebo. L'IL-6 a été mesurée par De Oliveira *et al.* et

Tableau 5

Résultats des taux des marqueurs biologiques (moyenne ± écart type)

		Créatine kinase (U/L)			Protéine C-réactive (mg/dl)		Interleukine-6 (pg/ml)								
		PRE	3 min	5 min	PRE	5 min	PRE	1 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h		
LEAL JUNIOR <i>et al.</i> (2010)	Plac.	340.6 ± 335.6	-	525.7 ± 386.5	26.7 ± 29.3	92.0 ± 115.1	-	-	-	-	-	-	-	-	
	PBMT	281.0 ± 196.3	-	263.6 ± 134.2*	38.7 ± 44.0	1.3 ± 4.0*	-	-	-	-	-	-	-	-	
LEAL JUNIOR <i>et al.</i> (2009)	Plac.	192.5 ± 69.8	219.4 ± 15.2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	PBMT	232.1 ± 153.3	275.5 ± 32.9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
LEAL JUNIOR <i>et al.</i> (2008)	Plac.	107.7 ± 41.1	136.2 ± 41.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	PBMT	108.6 ± 33.7	111.2 ± 33.7*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Créatine kinase (U/L)							Interleukine-6 (pg/ml)						
		PRE	1 min	1 h	24h	48 h	72 h	96 h	PRE	1 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h
DE OLIVEIRA <i>et al.</i> (2017)	Plac.	196.1 ± 11.5	228.5 ± 23.1	392.3 ± 34.6	703.9 ± 46.1	819.3 ± 46.1	680.8 ± 11.5	600 ± 23.1	26.7 ± 10.0	93.3 ± 6.7	103.3 ± 10.0	126.7 ± 13.3	130.0 ± 10.0	123.3 ± 10.0	110.0 ± 10.0
	100 mW	230.7 ± 11.5	228.5 ± 34.6	392.3 ± 34.6	473.1 ± 23.1*	588.5 ± 23.1*	438.5 ± 46.1*	392.3 ± 23.1*	30.0 ± 6.7	53.3 ± 10.0*	49.99 ± 10.0*	50.0 ± 10.0*	36.7 ± 6.7*	23.3 ± 10.0*	23.3 ± 6.7*
	200 mW	207.6 ± 11.5	323.1 ± 34.6	403.9 ± 34.6	576.9 ± 23.1*	703.9 ± 34.6*	519.2 ± 23.1*	484.6 ± 11.5*	20.0 ± 16.6	50.0 ± 6.7*	56.6 ± 6.7*	76.7 ± 6.7*	83.3 ± 6.7*	76.7 ± 13.3*	70.0 ± 10.0*
VANIN <i>et al.</i> (2016)	Plac.	223.5 ± 23.5	270.6 ± 35.3	376.5 ± 47.0	682.3 ± 23.5	729.4 ± 23.5	564.7 ± 23.5	553.0 ± 35.3	26.7 ± 4.4	88.9 ± 6.7	102.2 ± 17.8	117.8 ± 20.0	122.2 ± 24.4	120.0 ± 35.5	115.6 ± 22.2
	2 J	211.8 ± 23.5	247.0 ± 23.5	376.5 ± 35.3	458.8 ± 35.3*	447.0 ± 23.5*	400 ± 23.5*	364.7 ± 35.3*	28.9 ± 2.2	26.7 ± 4.4*	46.7 ± 8.9*	60.0 ± 6.67*	66.7 ± 11.1*	68.9 ± 9*	60.0 ± 8.9*
	6 J	223.5 ± 23.5	294.1 ± 23.5	411.8 ± 35.3	670.6 ± 23.5	694.1 ± 11.8	494.1 ± 35.3	470.6 ± 11.8	22.2 ± 4.4	28.9 ± 6.7*	31.1 ± 8.9*	55.5 ± 11.1*	55.5 ± 11.1*	64.5 ± 17.8*	71.1 ± 17.8*
	10 J	247.0 ± 11.8	258.8 ± 11.8	258.8 ± 11.8*	447.0 ± 23.5*	388.2 ± 11.8*	294.1 ± 23.5*	282.3 ± 23.5*	26.7 ± 4.4	40.0 ± 6.7*	28.9 ± 4.4*	55.5 ± 13.3*	46.7 ± 6.7*	62.2 ± 15.5*	97.8 ± 17.8

* significatif (P<0.05). Plac.: placebo.

Vanin et al.^(17,18). Le travail de De Oliveira *et al.*⁽¹⁷⁾ faisait état de résultats significativement diminués dans les deux groupes traités (100 mW et 200 mW) de 1 min à 96 h par rapport au groupe placebo. L'étude de Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾ montre que le taux d'IL-6 diminue significativement à tous les temps mesurés (de 1 min à 96 h) uniquement chez le groupe irradié à 2 J/diode par rapport au groupe placebo. En effet, les athlètes irradiés à 6 J/diode perdaient les bénéfices après 72 h alors que ceux du groupe de 10 J/diode ont eu une diminution significative par rapport au groupe placebo uniquement de 1 h à 72 h post-effort. Les résultats des mesures des taux sanguins des marqueurs biologiques sont présentés dans le tableau 5.

De Oliveira *et al.* et Vanin *et al.*^(17,18) ont chacun utilisé la CMVI pour mesurer la fatigue physique. De Oliveira *et al.*⁽¹⁷⁾ ont trouvé une augmentation significative à tous les points dans le temps pour le groupe de 100 mW, autant pour les valeurs absolues (en newton-mètre) que relatives (en pourcentage) de la CMVI par rapport au groupe placebo. Le groupe de 200 mW a eu, pour les valeurs absolues, des augmentations significatives par rapport au groupe placebo à tous les points dans le temps, excepté à 48 h. Cependant, pour les valeurs relatives, seules les mesures prises à 1 min, 1 h

et 96 h étaient significativement plus élevées. Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾ n'ont trouvé aucune différence significative face au placebo lors de l'irradiation des sportifs à une dose de 6 J/diode par rapport au groupe ayant reçu la séance placebo. À 2 J/diode, les résultats étaient augmentés de manière significative de 24 h jusqu'à 96 h, autant pour les valeurs absolues que relatives. L'irradiation à une dose de 10 J/diode a permis d'obtenir des résultats significativement plus élevés plus tôt, de 1 min à 24 h, cependant, dès 48 h, les résultats ne présentaient plus de différences notables par rapport aux sportifs ayant eu la séance placebo. Les résultats précis de la CMVI sont présentés dans le tableau 6.

Qualité et biais des études

Les résultats de la grille Downs and Black montraient un score allant de 21 à 23 points sur un total possible de 32 points. Globalement, les études manquaient de qualité pour la validité externe en obtenant aucun point pour cette catégorie. Certains biais étaient présents dans les études, comme par exemple au sein de la méthode propre des articles. En effet, une absence de mention du nombre de joueurs composant l'équipe, ou correspondant aux critères d'inclusion, a pu être notée. Le mode de sélections

Tableau 6

Résultats des taux de la contraction maximale volontaire isométrique (moyenne ± écart type)

		Contraction maximale volontaire isométrique absolue (Nm)						
		PRE	1 min	1 h	24 h	48 h	72 h	96 h
DE OLIVEIRA <i>et al.</i> (2017)	Plac.	239.8 ± 24.0	195.1 ± 11.8	196.8 ± 13.9	220.9 ± 15.8	224.2 ± 14.4	225.9 ± 13.9	227.3 ± 14.3
	100 mW	242.8 ± 28.2	224.2 ± 16.9*	224.9 ± 16.7*	249.9 ± 12.6*	262.4 ± 13.8*	265.4 ± 15.7*	271.5 ± 15.6*
	200 mW	245.4 ± 24.1	238.8 ± 16.7*	242.7 ± 17.2*	248.5 ± 15.7*	245.9 ± 18.5	251.1 ± 14.3*	259.0 ± 15.0*
VANIN <i>et al.</i> (2016)	Plac.	249.9 ± 22.6	228.1 ± 13.6	213.9 ± 29.0	247.4 ± 11.4	249.7 ± 28.3	243.9 ± 12.4	256.9 ± 8.5
	2 J	253.3 ± 24.5	226.7 ± 15.3	238.4 ± 10.0	286.8 ± 22.8*	294.3 ± 21.7*	292.1 ± 20.7*	305.6 ± 23.3*
	6 J	246.8 ± 23.6	220.8 ± 24.0	216.0 ± 6.4	223.4 ± 9.2	242.1 ± 7.9	228.4 ± 12.7	240.8 ± 18.7
	10 J	249.8 ± 15.7	259.0 ± 19.4*	262.2 ± 20.1*	26.0 ± 12.2*	261.9 ± 27.3	270.1 ± 13.4	281.2 ± 22.1
		Contraction maximale volontaire isométrique relative (%)						
DE OLIVEIRA <i>et al.</i> (2017)	Plac.	100.0 ± 10.0	81.4 ± 6.0	82.1 ± 7.1	92.1 ± 7.1	93.5 ± 6.4	94.2 ± 6.2	94.8 ± 6.3
	100 mW	100.0 ± 11.6	92.4 ± 7.5*	92.6 ± 7.4*	102.9 ± 5.0*	108.1 ± 5.3*	109.3 ± 5.9*	111.8 ± 5.7*
	200 mW	100.0 ± 9.8	97.3 ± 7.0*	98.9 ± 7.1*	101.3 ± 6.3	100.2 ± 7.5	102.3 ± 5.7	105.5 ± 5.8*
VANIN <i>et al.</i> (2016)	Plac.	100.0 ± 9.1	91.3 ± 5.9	85.6 ± 13.6	99.0 ± 4.6	99.9 ± 11.3	97.6 ± 5.1	102.8 ± 3.3
	2 J	100.0 ± 9.7	89.5 ± 6.8	94.1 ± 4.2	113.2 ± 7.9*	116.2 ± 7.4*	115.3 ± 7.1*	120.6 ± 7.6*
	6 J	100.0 ± 9.6	89.5 ± 10.9	87.5 ± 2.9	90.5 ± 4.1	98.1 ± 3.3	92.6 ± 5.6	97.6 ± 7.8
	10 J	100.0 ± 6.3	103.7 ± 7.5*	105.0 ± 7.7*	110.5 ± 4.4*	104.9 ± 10.4	108.1 15.1	112.6 ± 7.9

*: significatif (P<0.05). Plac.: placebo

est également inconnu. Il 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 études ont toutefois obtenu un score quasiment maximal concernant la validité interne. Elles comportaient également plusieurs points assurant une qualité haute, comme par exemple un design uniquement de type RCT. Concernant la taille des échantillons, deux études l'ont calculé 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^(17,18). Pour ce faire, elles se sont basées sur une étude préexistante, celle de Baroni *et al.*⁽¹⁹⁾ et ont décidé d'accepter une erreur de première espèce de 5% et une erreur de deuxième espèce de 20%. Les trois études de Leal Junior⁽¹⁴⁻¹⁶⁾ n'ont, quant à elles, pas indiqué comment ils l'avaient calculée. Il est toutefois possible de 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.* et Vanin *et al.*^(17,18). Pour terminer, les études de De Oliveira *et al.* et Vanin *et al.*^(17,18) ont précisé que les chercheurs qui ont effectué les analyses n'avaient pas connaissance des assignations aux différents groupes.

DISCUSSION

Globalement, les études ont montré une amélioration de la récupération des athlètes suite à une séance de PBMT appliquée avant un effort physique. Leal Junior *et al.* 2009⁽¹⁶⁾ est le seul à ne pas avoir trouvé de bénéfice à son utilisation. Cependant, il est le seul à avoir irradié uniquement deux points sur un muscle aussi grand que le droit fémoral. Leal Junior *et al.* 2010⁽¹⁵⁾ 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. Cette hypothèse est soutenue par la revue systématique de Ferraressi *et al.*⁽¹¹⁾ qui propose une irradiation du quadriceps de minimum 3 points afin d'obtenir des effets. 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. Ce nombre devrait également être adapté à l'effort physique demandé. En effet, le Wingate Test employé par Leal Junior *et al.* 2009⁽¹⁶⁾ implique une contraction coordonnée de plusieurs muscles. L'irradiation d'aussi peu de points sur un seul muscle paraît insuffisante et pourrait expliquer l'absence d'effet significatif. Leal Junior *et al.* 2008⁽¹⁴⁾, pour le même effort physique, a pu observer des résultats significatifs en irradiant cinq points. Il semble donc pertinent d'adapter le nombre de muscles irradiés au nombre de muscles employés lors de l'effort. Concernant le taux de CK, toutes les études ont montré une diminution significative, excepté l'étude de Leal Junior *et al.* 2009⁽¹⁶⁾ et le groupe de 6 J/diode de Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾. Les études les plus anciennes ont observé une baisse significative immédiate, alors que dans celles plus récentes, l'effet n'apparaissait qu'après 1 h. Ceci peut éventuellement être expliqué par le fait que les exercices de type excentrique utilisés par Vanin *et al.* et De Oliveira *et al.*^(17,18), engendrent une augmentation du taux de CK plus tardive que les exercices

concentriques⁽²⁰⁾. Ce point est appuyé par l'étude de Baroni *et al.*⁽¹⁹⁾, qui a montré un effet significatif de la PBMT, appliquée en amont d'un protocole de contractions excentriques similaire à ceux mis en place dans les études de Vanin *et al.* et De Oliveira *et al.*^(17,18), sur la diminution de ce taux 24 h et 48 h après l'effort. Aucune mesure n'a cependant été effectuée immédiatement après l'effort. Tous les groupes, dont le taux de marqueurs biologiques de l'inflammation a été évalué (que ce soit la PCR ou l'IL-6), ont fait part d'effets positifs, ce qui semble montrer que la PBMT, effectuée avant l'effort physique, a également un rôle protecteur sur les lésions musculaires liées à l'exercice, telles les douleurs musculaires d'apparition retardée. Toutefois, Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾ n'ont observé aucun effet bénéfique de la PBMT sur la douleur ressentie par les athlètes. La sensation douloureuse étant subjective et n'étant pas corrélée à la gravité des lésions structurelles⁽²³⁾, nous pouvons poser l'hypothèse qu'il y a malgré tout eu une amélioration des microlésions dans les groupes testés avec la PBMT. Les douleurs musculaires d'apparition retardée provoquant également une diminution de force, nous pouvons soutenir notre hypothèse grâce aux résultats significatifs obtenus pour la CMVI. La littérature scientifique est également sujette à controverse concernant les douleurs musculaires d'apparition retardée. En effet, la revue systématique de Ferraressi *et al.*⁽¹¹⁾ fait état de résultats variés qui concernent des études utilisant également des lasers en amont d'un effort physique. Le travail de De Oliveira *et al.*⁽¹⁷⁾ démontre que la sensation désagréable provoquée par les douleurs musculaires d'apparition retardée a été significativement diminuée par la PBMT mais jusqu'à 48 h uniquement. Ceci est probablement expliqué par la diminution spontanée des douleurs musculaires d'apparition retardée. Pour terminer, dans l'étude de Vanin *et al.*⁽¹⁸⁾, la PBMT à 10 J/diode a eu un effet immédiat sur la fatigue physique alors que l'irradiation à 2 J/diode a amélioré la CMVI après un certain temps de latence et plus longtemps. Nous pouvons donc formuler l'hypothèse qu'un paramétrage à 10 J (5 diodes à 2 J/diode) serait utile pour des sports nécessitant une période de récupération plus longue, alors qu'une irradiation à 50 J (5 diodes à 10 J/diode) procurerait des meilleurs résultats pour des athlètes ayant besoin d'un temps de récupération rapide. Cette hypothèse est transposable pour la puissance, sur la base des résultats de l'étude de De Oliveira *et al.*⁽¹⁷⁾. À 200 mW, les résultats de la CMVI étaient d'autant plus significatifs à court terme. Nous recommandons donc aux thérapeutes d'ajuster les paramètres en fonction des besoins de l'athlète en termes de temps de récupération.

Ces résultats sont toutefois à prendre avec précaution puisqu'au vu de la spécificité des paramètres choisis et de la population cible, ces derniers sont difficilement généralisables à la pratique. En effet, la plupart des machines commercialisées comportent soit un mélange de lasers et de LEDs, soit uniquement de LEDs, et sont la plupart du temps préprogrammés avec des variations de paramètres⁽²²⁾. Nous ne pouvons pas affirmer que ces appareils ont un effet similaire sur la récupération des athlètes à ceux utilisés dans les études sélectionnées pour cette revue. De plus, les paramètres devraient également être modifiés en fonction des caractéristiques personnelles du sujet traité⁽²³⁾. Cette revue de la littérature a été établie sur des athlètes. Étant donné les différences physiologiques de cette population causées par la plasticité des muscles squelettiques (hypertrophie des fibres musculaires, modification des types des fibres et

augmentation de la densité des mitochondries)⁽²⁴⁾, les résultats sont difficilement transposables. De plus, les articles analysés comportaient uniquement des hommes. La dose utilisée pour des athlètes de sexe féminin devrait donc probablement être augmentée. En effet, pour un même indice de masse corporelle, 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 des articles⁽²³⁾. L'étude de Souza-Barros *et al.*⁽²⁵⁾ 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 la dose, tout en respectant les normes de l'American National Standards Institute. Toutefois, la couleur de peau impacterait uniquement l'absorption des lumières de longueur d'onde rouge et non les lumières infrarouges, comme utilisées dans les articles^(23,25).

Cette revue présente également quelques biais à prendre en compte dans sa conclusion. Un risque de biais important réside dans la sélection des articles. En effet, les sports inclus étaient larges, alors qu'ils n'impliquaient 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. Cette sélection a toutefois été très réductrice au niveau des critères d'inclusion concernant les paramètres de la PBMT et a permis de comparer les résultats en limitant le plus possible les biais d'intervention. Cependant, elle a limité la transposition des résultats à la réalité et a également engendré une diminution du nombre d'études sélectionnées pour la revue, ce qui baisse la portée des résultats.

Pour terminer, au vu des effets positifs de la PBMT sur la récupération, et donc sur la performance des athlètes, la question de la légalisation de cette pratique ou non doit être abordée. Selon l'article 4.3.1 du code mondial antidopage du 15 novembre 2013⁽²⁶⁾, deux des trois conditions posées par l'Agence Mondiale Antidopage (AMA), doivent être réunies pour déterminer qu'une substance ou une méthode soit incluse dans la liste des techniques de dopage. Actuellement, la PBMT présente un critère rempli avec la preuves scientifique soutenant le potentiel d'amélioration de la performance sportive^(11,27-29) et un critère non rempli avec à ce jour l'absence d'effet secondaire présentant un risque pour la santé du sportif⁽³⁰⁾. 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⁽¹¹⁾.

CONCLUSION

Au vu des résultats obtenus dans les articles sélectionnés, nous soutenons l'hypothèse que la PBMT, utilisée en prévention, a un effet bénéfique sur la fatigue physique, les micro-lésions musculaires et l'inflammation associée. Toutefois, il en ressort que ces conclusions sont applicables exclusivement lorsque les paramètres sélectionnés dans cette revue sont employés et uniquement sur des athlètes compétiteurs de sexe masculin.

En effet, si une autre population est visée, il est important que le thérapeute adapte les réglages aux caractéristiques personnelles du participant. Il faut également 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. Puis, les paramètres de PBMT sont à faire varier en fonction du temps de récupération escompté, rapide ou plus tardive mais longue. Au vu de la qualité et des biais des articles sélectionnés, les résultats de cette revue engendrent une conclusion modérée. Des études complémentaires seraient pertinentes non seulement afin d'obtenir les paramètres optimaux à une récupération sportive, mais également visant une population plus hétérogène.

IMPLICATIONS POUR LA PRATIQUE

- **Le nombre de points d'application irradiés devrait être proportionnel à la taille du muscle et au nombre de groupes musculaires impliqués par l'effort.**
- **Une irradiation avec des paramètres, en termes de Joule, plus hauts (ex: 50 J), permettrait une récupération plus rapide que des paramètres plus bas (ex: 10 J) qui auraient, eux, un effet à plus long terme.**
- **Il est important d'adapter les paramètres de la photobio-modulation en fonction des caractéristiques du participant.**

Contact

Vito PORTUESI

Tél.: +41 21 316 81 27

E-mail: vito.portuesi@hesav.ch

Références

1. El Helou N. *Epidémiologie et physiopathologie du sport*. [PhD. Thesis]. Paris: Université de Paris V. 2011. Available: <https://hal-insep.archives-ouvertes.fr/tel-01788555/document>
2. Gremion G, Kuntzer T. *Fatigue et réduction de la performance motrice chez le sportif, syndrome de surentraînement*. *Revue médicale Suisse*. 2014;10:962-5.
3. Halson SL, Jeukendrup AE. *Does Overtraining Exist?: An Analysis of Overreaching and Overtraining Research*. *Sports Medicine*. 2004;34(14):967-81.
4. Bishop P, Jones E, Woods AK. *Recovery From Training: A Brief Review: Brief Review*. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2008;22(3):1015-24.
5. Dupuy O, Douzi W, Theurot D, Bosquet L, Dugué B. *An Evidence-Based Approach for Choosing Post-exercise Recovery Techniques to Reduce Markers of Muscle Damage, Soreness, Fatigue, and Inflammation: A Systematic Review With Meta-Analysis*. *Frontiers in Physiology*. 2018;9:1-15.
6. Saliou M. *Effet du massage dans la prévention des douleurs musculaires d'apparition retardée*. [M.Sc. Mémoire]. Rennes: Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Rennes. 2017. Available: https://ifpek.centre-doc.org/doc_num.php?explnum_id=1640
7. Ferraresi C, Hamblin MR, Parizotto NA. *Low-level laser (light) therapy (LLLT) on muscle tissue: performance, fatigue and repair benefited by the power of light*. *Photonics & Lasers in Medicine*. 2012;1(4):1-32.
8. Huang Y-Y, Chen ACH, Caroll JD, Hamblin MR. *Biphasic Dose Response in Low Level Light Therapy*. *International dose-response society*. 2009;7(4): 358-383.
9. Borsari P, Larkin K, True J. *Does Phototherapy Enhance Skeletal Muscle Contractile Function and Postexercise Recovery? A Systematic Review*. *Journal of Athletic Training*. 2013;48(1):57-67.
10. Vanin AA, Verhagen E, Barboza SD, Costa LOP, Leal-Junior ECP. *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*. 2018;33(1):181-214.
11. Ferraresi C, Huang Y-Y, Hamblin MR. *Photobiomodulation in human muscle tissue: an advantage in sports performance?* *Journal of Biophotonics*. 2016;9(11-12):1273-99.
12. Leal-Junior ECP, Vanin AA, Miranda EF, de Carvalho P de TC, Dal Corso S, Bjordal JM. *Effect of phototherapy (low-level laser therapy and light-emitting diode therapy) on exercise performance and markers of exercise recovery: a systematic review with meta-analysis*. *Lasers in Medical Science*. 2015;30(2):925-939.
13. Tzankoff SP, Norris, AH. *Effect of muscle mass decrease on age-related BMR changes*. *Journal of Applied Physiology*. 1977;43(6):1001-1006.
14. Leal Junior ECP, Lopes-Martins RÁB, Baroni BM, De Marchi T, Tauber D, Manfro DS, et al. *Effect of 830 nm low-level laser therapy applied before high-intensity exercises on skeletal muscle recovery in athletes*. *Lasers in Medical Science*. 2008;24(6):857-63.
15. Leal Junior ECP, Lopes-Martins RÁB, Frigo L, De Marchi T, Rossi RP, de Godoi V, et al. *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*. 2010;40(8):524-32.
16. Leal Junior ECP, Lopes-Martins RÁB, Baroni BM, De Marchi T, Rossi RP, Grosselli D, et al. *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*. 2009;27(4):617-23.
17. De Oliveira AR, Vanin AA, Tomazoni SS, Miranda EF, Albuquerque-Pontes GM, De Marchi T, et al. *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*. 2017;35(11):595-603.
18. Vanin AV, De Marchi T, Silva Tomazoni S, Tairova O, Leão Casalechi H, de Tarso Camillo de Carvalho P, et al. *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*. 2016;34(10):473-82.
19. Baroni BM, Leal Junior ECP, De Marchi T, Lopes AL, Salvador M, Vaz MA. *Low level laser therapy before eccentric exercise reduces muscle damage markers in humans*. *European Journal of Applied Physiology*. 2010;110(4):789-96
20. Totsuka M, Nakaji S, Suzuki K, Sugawara K, Sato K. *Break point of serum creatine kinase release after endurance exercise*. *Journal of Applied Physiology*. 2002;93(4):1280-6.
21. Moseley GL. *Reconceptualising pain according to modern pain science*. *Physical Therapy Reviews*. 2007;12(3):169-78.
22. Elabora biotec SAS. *Life +* [Internet]. France:Elabora biotec SAS; 2018 [updated 2019 Apr, cited 2019 Apr 22]. Available from: <https://www.neolysplus.fr/produit/life-sportdevice/>
23. Nussbaum EL, Van Zuylen J, Jing F. *Transmission of Light through Human Skin Folds during Phototherapy: Effects of Physical Characteristics, Irradiation Wavelength, and Skin-Diode Coupling*. *Physiotherapy Canada*. 2007;59(3):194-207.
24. Holzer N, Ziltener J-L, Menetrey J. *Plasticité du muscle strié squelettique: effet de l'entraînement et perspectives*. *Revue médicale Suisse*. 2006;2(74):1798-1804.
25. Souza-Barros L, Dhaidan G, Maunula M, Solomon V, Gabison S, Lilje L, et al. *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*. 2018;50(4):291-301.
26. Art. 4 al. 3.1. *Liste des interdictions (Code mondial antidopage)*, 2003 (Révisé le 15 novembre 2013).
27. De Brito Vieira WH, Ferraresi C, de Andrade Perez SE, Baldissera V, Parizotto NA. *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*. 2012;27(2):497-504.
28. Hemmings TJ, Kendall K, Dobson JL. *Identifying dosage effect of LEDT on muscular fatigue in quadriceps*. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2016;31(2):395-402.
29. Lanferdini FJ, Bini RR, Baroni BM, Klein KD, Carpes FP, Vaz MA. *Improvement of Performance and Reduction of Fatigue With Low-Level Laser Therapy in Competitive Cyclists*. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2018;13(1):14-22.
30. Barolet D. *Light-Emitting Diodes (LEDs) in Dermatology*. *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery*. 2008;27(4):227-38.