



ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE RENNES

DÉPARTEMENT SCIENCES DU SPORT ET ÉDUCATION PHYSIQUE

Mémoire de 1^{ère} année de Magistère
Année universitaire 2021-2022
Discipline : STAPS

Sciences de la Vie et de la Santé

**Récupération inter-matches en badminton :
comparaison des effets de l'électrostimulation
neuromusculaire et d'une modalité de
récupération active**

Présenté par : Lou-Anne LETURQUE & Clément BLANCHET

Encadrant : Jacques PRIOUX (ENS Rennes)

Remerciements

Nous tenons à remercier vigoureusement le Rennes Etudiants Club de Badminton ainsi que l'Avenir Sportif de Vezin-Le-Coquet pour nous avoir accueillis et nous avoir permis de réaliser nos expérimentations sur leurs créneaux d'entraînement. De plus, nous remercions l'entraîneur présent lors de ces créneaux, Loris Dufay, qui nous a aidé lors du recrutement des participants et qui a toujours été très compréhensif lors de nos expérimentations, nous laissant utiliser l'espace et le matériel dont nous avons besoin.

Nous remercions également l'ensemble des participants, ayant présenté un réel intérêt et engagement pour l'étude et les expérimentations.

Nous remercions Annabelle Limballe pour son aide précieuse dans la gestion des outils numériques que nous avons utilisé.

Enfin, nous remercions vivement Monsieur Alexis Le Faucheur, responsable des premières années du département Sciences du Sport et Education Physique de l'ENS Rennes, pour l'intérêt porté à notre travail, pour ses conseils de choix méthodologiques, ainsi que Monsieur Jacques Prioux, notre tuteur de mémoire, pour leur accompagnement tout au long de l'année scolaire.

Sommaire

Liste des abréviations	2
Table des illustrations	3
1 Introduction et cadrage théorique	4
1.1 Dimensions de la performance en badminton et fatigue	4
1.2 Processus physiologiques visés lors de la récupération intermédiaire en badminton	6
1.3 L'électrostimulation neuromusculaire, une stratégie pour atténuer la fatigue en badminton?	8
1.4 Objectif et hypothèses	11
2 Matériels et méthodes	12
2.1 Conception de l'étude / study design	12
2.2 Population	12
2.3 Déroulement général	12
2.4 Méthodes	14
2.5 Matériel	17
3 Résultats	21
3.1 Population	21
3.2 Performance temporelle aux MRSAB	22
3.3 Objectifs secondaires	23
4 Discussion	25
4.1 Performance temporelle aux MRSAB	25
4.2 Lactatémie	26
4.3 Perception de l'effort	27
4.4 Puissance	27
4.5 Pourcentage de fréquence cardiaque maximale	27
4.6 Limites du travail	28
5 Perspectives	29
6 Conclusion	30

Liste des abréviations

$\dot{V}O_2$	Prélèvement en dioxygène
2SEP	Sciences du Sport et Education Physique
ANOVA	Analysis Of Variance (Analyse de variance)
ASV	Avenir Sportif de Vezin-Le-Coquet
ATP	Adénosine TriPhosphate
Ca^{2+}	Ion calcium
CMJ	Counter Movement Jump
ENS	Ecole Normale Supérieure
ESNM	Electrostimulation neuromusculaire
FC	Fréquence Cardiaque
K^+	Ion potassium
MRSAB	Multiple Repeated Sprint Ability for Badminton
Na^+	Ion sodium
PMA	Puissance Maximale Aérobie
RACT	Récupération ACTive
REC	Rennes Etudiant Club
RPAS	Récupération PASSive
RPE	Rating of Perceived Exertion
RS	Réticulum Sarcoplasmique
STAPS	Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives
VMA	Vitesse Maximale Aérobie

Tables des illustrations

Table des figures

1	Schéma représentant le déroulement du protocole mis en place	13
2	Buzzer relié au Makey Makey lui même relié à l'ordinateur	16
3	Participant qui actionne le buzzer	16
4	Placement des électrodes	19
5	Diagramme en bâton présentant les performances temporelles de nos participants au premier et au deuxième test spécifique au badminton dans les trois conditions de récupération.	22
6	Diagramme en bâton présentant le pourcentage de fréquence cardiaque maximale de nos participants mesurées lors du premier et du deuxième test spécifique au badminton, ainsi que lors de la récupération, dans les trois conditions de récupération.	24
7	Schéma bilan de l'étiologie de la fatigue en sport de raquette	36
8	Schéma des déplacements au cours du MRSAB	37
9	Schéma des effets de l'intensité de l'électrostimulation sur la récupération post-exercice	38
10	Affiche partagée pour le recrutement des sujets	39
11	Lettre d'information fournie aux participants	40
12	Formulaire de consentement éclairé	41
13	Echauffement standardisé proposé à nos badistes	42

Liste des tableaux

1	Etiologie de la fatigue en sport de raquette, issu de Girard and Millet (2008)	5
2	Caractéristiques de la population étudiée	21

1 Introduction et cadrage théorique

1.1 Dimensions de la performance en badminton et fatigue

1.1.1 La performance en badminton : effort, sollicitation et blessures

Le badminton est défini comme « un sport duel dans lequel le volant, frappé par une raquette, après avoir franchi le filet, doit toucher le sol dans le camp adverse ou ne pas être renvoyé par l'adversaire » (Phomsoupha, 2016). « Caractérisé comme une activité de raquette composée d'actions très intenses et de courtes durées couplées à un court temps de récupération » (Manrique and González-Badillo, 2003), ce sport se caractérise par « des mouvements courts et continus, des sauts, des changements de direction et des mouvements rapides des bras dans un large éventail de postures corporelles, visant à renvoyer le volant » (Abian-Vicen et al., 2014). Par conséquent, d'un point de vue physiologique, ce sport de raquette implique de nombreux changements de directions et frappes de balles, impliquant alors des efforts intenses de la part des membres inférieurs et supérieurs et une dépense énergétique élevée (O'Donoghue et al., 2013). L'effort est donc intermittent et de haute intensité sur des matchs dont la durée s'étend de trente minutes à une heure. En outre, lors d'un match de badminton, 60 à 70% de l'énergie provient du métabolisme oxydatif, et les 30 à 40% restant sont fournis par la voie des phosphagènes et la glycolyse lactique (Phomsoupha, 2016).

Il existerait trois facteurs majoritaires de la performance dans les sports de raquette, dont le badminton fait partie : la technique, la tactique et le physique (O'Donoghue et al., 2013). Tout d'abord, la technique renvoie à l'exécution correcte d'un coup, tel que le dégagement, le smash, l'amorti, le drive, le lob, le lift et le contre-amorti. Deuxièmement, la tactique correspond au choix d'une frappe parmi les options disponibles dans une situation donnée. Enfin, ces auteurs énoncent l'aspect physique, constitué notamment des capacités aérobie et anaérobie du joueur. Le badiste est en effet confronté à une intensité de jeu élevée, avec une sollicitation atteignant 75 à 80% de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_{2max}$), 70 à 90% de la fréquence cardiaque maximale (O'Donoghue et al., 2013) et une concentration en lactate d'environ 7 mmol.L⁻¹ (Phomsoupha, 2016). De plus, le gain d'un point en fin de match est souvent associé à la capacité qu'a le joueur à performer dans la répétition de sprints et dans la production de frappes puissantes (Girard and Millet, 2008). Dans ce mémoire, nous nous intéressons à la fatigue sur le plan physique, à son évolution au cours de deux matchs de badminton, et aux stratégies de récupération ayant pour but de limiter cette fatigue, pouvant alors améliorer la performance sur un second match.

1.1.2 Apparition de la fatigue au cours d'un match de badminton

La fatigue est définie de façon générale comme un phénomène entraînant « une baisse de la performance physique associée à une augmentation de la pénibilité de l'exercice ou de la tâche, qui peut être réelle, et/ou perçue par l'individu » (MacIntosh et al. 2006, cités par Borne

(2016)). La fatigue induirait alors l'apparition de coups mal dosés, de mouvements altérés sur le terrain et des choix tactiques incorrects (Girard and Millet, 2008). La fatigue altère donc les dimensions technique, physique et tactique de la performance.

Fatigue périphérique	
Activité du muscle	La réduction des gradients transmembranaires ioniques (Na^+ et K^+) entraîne une diminution de l'amplitude de l'onde M et une augmentation de sa durée, ce qui résulte en une altération de la propagation du potentiel d'action.
Couplage excitation-contraction	L'accumulation de phosphate inorganique (Pi) semble interférer avec la fonction musculaire car son entrée dans le réticulum sarcoplasmique (RS) induit une précipitation Ca^{2+} -Pi, et diminue donc le Ca^{2+} disponible pour la libération. Ceci atténuerait à son tour la liaison du Ca^{2+} à la troponine C. Moins de ponts seraient formés entre les molécules d'actine et de myosine, et donc une force plus faible serait générée.
Apport en énergie métabolique	La déplétion glycolytique musculaire est associée à une diminution du relargage d'ions Ca^{2+} par le RS, ce qui altère l'efficacité de la contraction musculaire (Poortmans and Boisseau, 2012, p. 177). La diminution de la concentration en phosphocréatine musculaire est corrélée à une altération de la capacité de sprint.
Acidose musculaire	L'augmentation de la concentration en ions H^+ altère l'activité de la phosphorylase et la phosphofructokinase (PFK) – enzymes régulatrices clés de la glycolyse et glycolytolyse – ce qui impacte négativement la production d'ATP (Delfour-Peyrethon, 2014, p.37).
Fatigue centrale	
Supraspinale	Les changements de concentration et de flux de neurotransmetteurs sont à l'origine de la fatigue supraspinale. L'augmentation des concentrations de sérotonine, de dopamine et d'acétylcholine dans le cerveau peut perturber l'homéostasie de l'organisme, ce qui est à l'origine d'une influence négative sur l'excitation et le recrutement des muscles squelettiques.
Spinale	Des rétroactions afférentes du muscle dont la désactivation du système fusimoteur et l'inhibition présynaptique, médiées par les neurones jouent un rôle dans l'inhibition de l'excitabilité des motoneurones, ce qui induit une baisse de puissance générée.

TABLE 1 – Etiologie de la fatigue en sport de raquette, issu de Girard and Millet (2008)

En tennis, Mitchell et al. (1992) ont observé que la fatigue après un match de tennis de trois heures se manifeste par une diminution de la vitesse du service et un temps plus long pour effectuer des shuttle run (déplacements sur le terrain). Phomsoupha (2016) retrouve des conclusions similaires suite à des matchs simulés de badminton, lors desquels la vitesse

de déplacement sur le terrain diminue au cours du temps. Il constate également une baisse de la puissance des membres inférieurs, ainsi qu'une réduction de la force de préhension, une diminution de la vitesse des frappes et une augmentation de la perception de la fatigue au cours du match.

De plus, en badminton, la fatigue neuromusculaire se traduit principalement au niveau des membres inférieurs puisque les joueurs s'appuient fortement sur des mouvements explosifs, comprenant des sprints, des fentes, des sauts et des changements rapides de direction, qui sont dirigés par les jambes (Huang et al., 2019). Ces auteurs considèrent donc la baisse de puissance musculaire des membres inférieurs comme étant un élément limitant la performance en badminton, puisqu'elle permet l'exécution de la plupart des mouvements explosifs. En effet, la puissance, caractérisée par le travail des forces musculaires effectué par unité de temps (Sapega and Drillings, 1983), diminue à l'orgue de la déplétition des substrats énergétiques.

L'étiologie de la fatigue musculaire lors d'un match de badminton est un phénomène complexe qui peut impliquer une déficience des processus neuronaux et contractiles. La figure 7 en annexe représente schématiquement les différentes causes de la fatigue en sport de raquette, ainsi que leurs interrelations. Le tableau 1 résume les causes de la fatigue en sport de raquette évoquées par Girard and Millet (2008). Nous l'avons étayé à partir des lectures de Poortmans and Boisseau (2012) et Delfour-Peyrethon (2014). A partir de ce tableau, nous pouvons faire le constat que la fatigue en badminton est principalement due à une réduction de l'excitabilité du sarcolemme et à une altération du couplage excitation-contraction, expliquées par une accumulation de métabolites, ainsi que par une diminution des substrats métaboliques (Girard and Millet, 2008).

Ainsi, l'objectif de la récupération entre les deux matchs de badminton est de maximiser la resynthèse de substrats mais aussi l'élimination des métabolites, afin de commencer le deuxième match en limitant l'impact de la fatigue générée par le premier sur l'organisme du badiste.

1.2 Processus physiologiques visés lors de la récupération intermédiaire en badminton

Selon les règles officielles du badminton, « le jeu doit être continu depuis le premier service jusqu'à ce que le match soit terminé » : aucune récupération n'est autorisée entre les points. Une pause de soixante secondes est toutefois autorisée lorsqu'un joueur atteint onze points. Entre les sets, une pause n'excédant pas cent vingt secondes est également accordée. De plus, selon le Règlement Général des Compétitions, un badiste ne peut pas jouer plus de huit matchs dans la même journée, et un minimum de vingt minutes est obligatoire entre deux matchs. Par conséquent, la récupération entre les échanges étant interdite, et les récupérations entre les sets étant trop courtes pour mettre en place une stratégie de récupération, la récupération inter-match, d'une durée minimale de vingt minutes, représente le moment crucial pendant lequel il est possible de jouer pour récupérer au mieux et être efficace lors du match suivant.

La récupération est un processus suivant l'arrêt de l'exercice permettant d' « atteindre ou de dépasser ses performances dans une activité particulière » (Bishop et al., 2008). Ce processus comprend un retour de l'organisme à ses conditions physiologiques de repos. Le concept de récupération prend diverses colorations dans la littérature selon ces auteurs, qui elles-même peuvent être polysémiques (Borne, 2016). Dans ce mémoire, en réunissant plusieurs articles mentionnant une classification des types de récupérations, nous distinguons quatre types de récupérations : Récupération immédiate, à court terme, intermédiaire et de l'entraînement. Nous nommons récupération immédiate celle qui a lieu entre deux contractions musculaires, comme le fait Borne (2016). La récupération à court terme s'exprime pour nous entre deux échanges ou entre deux sets, à la manière de Bishop et al. (2008) qui base cette récupération sur un temps inférieur à celui qui est nécessaire à la resynthèse de la phosphocréatine (environ 6-8 minutes). Au-delà de cette période, la récupération intermédiaire intervient. Nous étudierons cette modalité, qui prend place entre la fin d'un match et le début du suivant. Elle correspond à un temps de récupération permettant la resynthèse complète de la créatine phosphate, mais qui n'est pas suffisant pour permettre un retour à l'état basal sur le plan de la réplétion glycogénique. Finalement, nous appelons récupération de l'entraînement un temps permettant un retour à des valeurs basales des stocks glycogéniques, voire une surcompensation.

Par ailleurs, il existe un continuum entre l'état de récupération et l'état de fatigue (Kellmann et al., 2018). Par conséquent, la fatigue pouvant être mesurée en comparant les valeurs pré et post-exercice des paramètres physiologiques enregistrés (Borne, 2016), mesurer une variation de fatigue peut être un bon indicateur de la récupération. Ainsi, l'enjeu de la récupération est de remédier aux principales causes de la fatigue lors d'un match de badminton, qui correspondent, selon Girard and Millet (2008) à l'accumulation de métabolites et à la diminution des substrats énergétiques.

En ce qui concerne la réplétion des substrats énergétiques, les stocks de phosphocréatine sont restaurés en six à huit minutes (Harris et al., 1976). La puissance musculaire des membres inférieurs est principalement dépendante de ce processus de réplétion. Par ailleurs, la resynthèse du glycogène s'établit entre 24 et 48 heures après l'exercice et est liée à de nombreux facteurs, dont l'utilisation du lactate non oxydé, l'approvisionnement en glucides, la spécificité de l'exercice précédemment réalisé, la présence d'insuline, d'acides aminés ou de glucose qui régulent l'activité enzymatique de la glycogénèse (Poortmans and Boisseau, 2012, p.217-218). L'utilisation résiduelle du lactate attire particulièrement notre attention. En effet, entre 13 et 50% du lactate musculaire formé lors d'un exercice intense est transformé en glycogène grâce à la néoglucogénèse, se produisant à 90% dans le foie, au cours de la première heure de récupération bien qu'il existe une variabilité inter-individuelle (Astrand et al., 1986; Jentjens and Jeukendrup, 2003). Par ailleurs, l'élimination de ce lactate sanguin, qui est donc en partie due à une resynthèse de glycogène, serait plus rapide en récupération active (RACT) qu'en récupération passive après des exercices de haute intensité répétés (Ahmaidi et al., 1996; Choi et al., 1994).

En effet, cette élimination durerait environ une heure trente en condition passive et vingt

minutes en condition de récupération active (Cazorla and Leger, 2004). Concernant l'élimination des autres métabolites, celle du phosphate inorganique est plus rapide avec une modalité de récupération active, par rapport à une modalité passive (Yoshida et al., 1996). Cependant, quelle que soit la modalité, le phosphate inorganique disparaîtrait en une dizaine de minutes maximum. D'autre part, le délai de retour à des valeurs basales de pH (élimination des protons) est d'environ 30 à 35 minutes (Wilmore et al., 2017, p. 138), cependant, cette durée peut être réduite grâce à une modalité de récupération active (Sairyo et al., 2003). Ainsi, une modalité de récupération active entre deux matchs de badminton serait en mesure d'accélérer à la fois la cinétique d'élimination du lactate et celle des ions H^+ . D'autre part, dans le cadre de notre mémoire, la récupération ayant une durée de vingt minutes, la disparition des phosphates inorganiques ainsi que la réplétion des stocks de phosphocréatine seraient suffisantes pour ne plus limiter la performance, quelle que soit la modalité de récupération.

Par ailleurs, l'ensemble des produits du métabolisme à l'exercice sont transportés par le sang, afin d'être éliminé. Finalement, sans augmentation du flux sanguin, « l'apport de dioxygène et de nutriments ainsi que l'évacuation des sous-produits métaboliques nécessaires au bon fonctionnement des cellules musculaires lors de l'exercice intense répété, ne peut aboutir » (Borne, 2016). L'autrice défend ainsi dans sa thèse qu'un niveau de flux sanguin approprié aux besoins métaboliques de l'organisme est une condition de retour rapide à l'équilibre basal. En effet, l'augmentation du flux sanguin conditionne la vitesse de reformation du déficit local en dioxygène, des substrats énergétiques ainsi que la vitesse d'élimination et de recyclage du dioxyde de carbone et des sous-produits métaboliques. Pour conclure, dans le cadre d'une récupération intermédiaire en badminton, l'enjeu est d'éliminer ou de recycler les métabolites musculaires (lactate et H^+) et de participer à la réplétion des substrats métaboliques (glycogène). Une augmentation du flux sanguin serait en mesure de répondre à cette finalité.

1.3 L'électrostimulation neuromusculaire, une stratégie pour atténuer la fatigue en badminton ?

Un courant électrique est constitué d'un mouvement d'électrons à travers la matière lorsqu'il existe une différence de potentiel entre les extrémités des voies conductrices (Borne, 2016). Celui-ci peut alors impliquer une série de stimuli délivrés superficiellement à l'aide d'électrodes placés sur la peau pour permettre une stimulation électrique (Babault et al., 2011). L'électrostimulation, qui possède des propriétés antalgiques, trophiques et excitomotrices, s'est développée dans le milieu médical puis s'est étendue au milieu sportif pour développer la force, l'endurance ou permettre une meilleure récupération Borne (2016). Il existe cependant une diversité de caractéristiques de stimulation. Nous retrouvons dans la revue de littérature de Babault et al. (2011) cinq modalités de stimulation visant à restaurer la performance sportive, que nous répartissons en deux effets physiologiques : un effet analgésique, et une augmentation du flux sanguin (cf. figure 9 en annexe).

Nous avons mis en exergue l'intérêt de chercher l'augmentation du flux sanguin systémique pour accélérer le recyclage des métabolites et la resynthèse des substrats. L'électrostimu-

lation neuromusculaire (ESNM), qui consiste à stimuler les terminaisons nerveuses intramusculaires au moyen d'un courant électrique appliqué au niveau cutané à partir d'électrodes, répond à cette volonté et peut facilement être mise en place (Borne, 2016). En effet, au niveau de la membrane des neurones, il existe une différence de potentiel de l'ordre de -70 mV, liée à une charge positive dans le milieu extracellulaire et négative dans le compartiment intracellulaire. Une stimulation électrique, induite par un influx nerveux ou un appareil d'ESNM, inverse alors la polarisation de la membrane, activant ainsi les canaux voltage-dépendants à Na^+ et K^+ , ce qui génère un potentiel d'action musculaire à l'origine d'une contraction (Nazmi et al., 2016). Par ailleurs, le seuil d'excitabilité des axones est inférieur à celui des cellules musculaires, ce qui permet d'induire une contraction avec une intensité de stimulation moins élevée, limitant ainsi les douleurs potentielles. La contraction provoquée par l'électrostimulation permet alors le retour veineux selon le principe de la pompe musculaire. En effet, les muscles contractés compriment les veines avoisinantes ce qui chasse le sang à haut débit en direction du cœur. Si l'effet de la pression du flux sanguin dirigé vers le cœur ouvre les valvules proximales, le reflux referme les valvules distales assurant un trajet unidirectionnel (Bringard et al., 2007). De surcroît, les muscles du triceps sural peuvent être considérés comme une pompe musculo-veineuse et seraient responsables de 80% du retour veineux (Bieuzen et al., 2014). Pour conclure, l'ESNM est la forme de stimulation qui nous intéresse dans le cadre d'une récupération intermédiaire entre deux matchs simulés de badminton. Son efficacité fait toutefois débat en ce qui concerne la récupération d'exercices à haute intensité et répétés à court terme.

1.3.1 Des controverses sur l'efficacité en termes de récupération intermédiaire lors d'exercices à haute intensité et répétés à court terme

Dans ce cadre, Malone et al. (2014) mettent en exergue une efficacité limitée de l'ESNM sur la récupération. Bien que l'ESNM paraisse accélérer la cinétique de diminution de lactatémie et améliore la perception de récupération en termes de douleur et de fatigue par rapport à la RPAS, cela ne s'accompagne pas d'un effet sur la récupération de la performance selon les auteurs. En effet, si un effet positif de l'ENSM est observé par Westcott et al. (2011) en comparaison à la RPAS et par Warren et al. (2011) en comparaison à la récupération active, Heyman et al. (2009) pointent un effet négatif par rapport à la récupération active.

Les auteurs concluent que l'ESNM n'améliore pas la performance en comparaison avec les méthodes traditionnelles. D'autre part, Bieuzen et al. (2012) observent une amélioration de la performance anaérobie chez des footballeurs professionnels dans le cadre d'une récupération de plusieurs exercices intermittents supra-maximaux, reproduisant la fatigue d'un match, avec une modalité ESNM par rapport à une RPAS. Cette amélioration de la performance anaérobie, mesurée à partir d'un test maximal de trente secondes sur ergomètre d'aviron, était visible après une heure de récupération. Les auteurs n'ont toutefois pas noté de différence 23 heures plus tard. De surcroît, Bieuzen et al. (2014) observent chez des handballeuses dites très entraînées que l'ESNM, au même titre que la RACT, est à l'origine d'un retour basal plus rapide après un test Yo-Yo et d'une meilleure performance, par rapport à une modalité de RPAS, sur un

deuxième test similaire après quinze minutes de récupération. De la même façon, [Borne \(2016\)](#) conclue sa thèse, constituée de trois études, en affirmant à partir de ses deuxième et troisième études – stimulant respectivement quinze et trente minutes le triceps sural en position assise confortable pour des handballeuses de niveau national ou international et des kayakistes élites – que l’ESNM permet une meilleure récupération de performance pour des exercices à haute intensité et répétés à court terme qu’une modalité de RPAS. Sa première étude, utilisant des stimulations sensorielles sub-motrices chez un groupe contrôle, soutient qu’il n’y a pas d’effet placebo. Pour conclure, les résultats de l’ESNM semblent bénéfiques, en comparaison avec une RPAS, pour des sportifs dont la discipline induit des exercices intenses entrecoupés de courtes récupérations ([Bieuzen et al., 2014](#)). Les badistes appartiennent à cette catégorie. Autrement dit, bien qu’il n’existe pas d’effet positif de l’ESNM concernant la récupération de l’entraînement, nous pouvons nuancer les controverses qui lui sont attribuées dans le cadre d’une récupération intermédiaire. Nous remarquons effectivement une grande hétérogénéité dans les protocoles des études portant sur l’ESNM dans le cadre de la récupération d’exercices à haute intensité répétés, en termes de paramètres de stimulation, de définition de la performance et de mode d’exercice induisant une fatigue. Parmi ces paramètres, nous retrouvons le type et la fréquence du courant, les caractéristiques de l’impulsion électrique, le cycle de stimulation, la taille et le positionnement des électrodes de stimulation ([Borne, 2016](#)). L’auteur précise qu’il n’existe pas de consensus concernant les paramètres de stimulation dans le cadre de la récupération d’exercices à haute intensité et répétés à court terme. De plus, ceux-ci ne sont pas toujours indiqués dans la littérature car les informations des fabricants manquent d’accessibilité. Ces paramètres peuvent néanmoins modifier la réponse physiologique de l’organisme à l’ESNM en récupération. De plus, il existe une grande variabilité individuelle dans l’intensité de stimulation requise, liée aux tissus adipeux et à la perception de douleur ou d’inconfort. L’intensité de la contraction provoquée par l’ESNM n’est pas uniquement dépendante de facteurs externes contrôlables. Les propriétés intrinsèques du muscle et la sensibilité des terminaisons nerveuses axonales au courant électrique ont aussi un rôle ([Malone et al., 2014](#)). Pour conclure, si la littérature concernant les efforts supramaximaux intermittents et répétés est mitigée, il nous semble intéressant d’étudier l’ESNM dans un contexte de matchs simulés pour des badistes.

La fédération française de badminton classe ses joueurs dans les niveaux promotion, départemental, régional et national. Les populations pour lesquelles les études présentaient des résultats positifs équivalaient quant à elles à des niveaux nationaux et au-delà ([Bieuzen et al., 2012, 2014; Borne, 2016](#)). Nous nous interrogeons donc sur les vertus de l’ESNM pour la récupération chez des badistes de niveau promotion à régional.

1.3.2 Récupération active et stimulation électrique en vue d’augmenter le flux sanguin

Nous avons observé dans la littérature que l’ESNM peut être à l’origine d’une augmentation de flux sanguin, ce qui influence la récupération des performances sportives en restaurant les propriétés neuromusculaires et en réduisant les douleurs musculaires : « l’augmentation du

flux sanguin lors de la récupération apparaît indispensable au bon rétablissement de l'état de l'organisme et au maintien de la performance sportive » (Borne, 2016). Cependant, l'intensification des actions de pompe associées à la contraction des mollets augmentant le flux sanguin peut aussi être obtenue avec des méthodes de récupération actives traditionnelles dont le footing léger ou l'ergocycle sans résistance font partie (Bieuzen et al., 2012). La demande métabolique de l'ESNM semble toutefois se rapprocher d'une condition de repos tandis que la récupération active est à l'origine de sollicitations métaboliques et cardiovasculaires plus importantes dans les trois études composant la thèse de Borne (2016). De la même façon, en récupération active, la consommation pulmonaire d'oxygène, la saturation tissulaire en oxygène, la fréquence cardiaque et l'augmentation de la température corporelle ralentissent la réplétion des réserves énergétiques de l'organisme. Or, la fréquence cardiaque augmente linéairement avec le $\dot{V}O_2$ au cours d'activités d'intensités modérées à élevées Warren et al. (2010) et peut être utilisée pour prévoir la dépense énergétique Hiilloskorpi et al. (2003). Une récupération passive permet effectivement une resynthèse de glycogène plus importante qu'une récupération active (Choi et al., 1994). Par conséquent, l'ESNM, qui se rapproche des conditions de repos selon Borne (2016), apparaît moins coûteuse que la RACT et pourrait permettre une meilleure restauration de performance lors d'une récupération intermédiaire entre deux matchs simulés de badminton, à condition d'utiliser un appareil d'électrostimulation le permettant. C'est le cas par exemple du VEINOPLUS, que nous souhaitons utiliser dans le cadre de notre mémoire.

1.4 Objectif et hypothèses

L'objectif de ce mémoire est, dans un contexte de récupération entre deux matchs simulés de badminton, de tester l'influence d'une stratégie de récupération utilisant l'électrostimulation neuromusculaire du triceps sural sur la performance temporelle au cours d'un match simulé de badminton d'une part, et sur les marqueurs physiologiques de la fatigue de l'autre, en comparaison avec des modalités traditionnelles actives et passives. A partir de cette analyse de la littérature, nous émettons les hypothèses suivantes : 1) la récupération utilisant l'ESNM limite la baisse de performance temporelle sur le deuxième match simulé par rapport à une modalité de récupération active, et encore plus comparativement à une modalité passive ; et 2) les marqueurs physiologiques de la fatigue – en particulier la lactatémie, la fréquence cardiaque et la puissance musculaire des membres inférieurs – retournent vers un état basal plus rapidement en utilisant les stratégies de récupération active et par ESNM par rapport à une récupération passive.

2 Matériels et méthodes

2.1 Conception de l'étude / study design

Notre étude est un essai contrôlé randomisé, c'est à dire que nous avons réparti de façon aléatoire l'ensemble de nos participants en trois groupes distincts de modalité de récupération. Ce type d'étude nous permet de comparer les résultats obtenus avec le groupe contrôle (modalité passive), et les résultats des deux autres groupes expérimentaux, appelés intervention (récupérations active et par stimulation électrique). Nous nous sommes assurés de l'homogénéité des trois groupes au début de l'étude.

2.2 Population

Notre étude porte sur 18 badistes, recrutés dans les clubs de badminton rennais : L'Avenir Sportif de Vezin-Le-Coquet (ASV) et Le Rennes Etudiant Club (REC). Nous nous sommes rendus au sein de ses clubs, et leur avons expliqué le but de notre étude ainsi que les critères d'inclusion : être joueur de badminton de niveau départemental, être âgé de 20 à 40 ans et s'entraîner au moins quatre heures par semaine. Nous avons également exclu les individus présentant des maladies cardio-vasculaires et pulmonaires, ainsi que les fumeurs.

De plus, vingt-quatre heures avant la collecte de données, les badistes se sont abstenus de consommer des boissons alcoolisées ou à base de café et ne se sont pas alimentés trois heures avant et n'ont indiqué aucune blessure au cours du protocole expérimental. Nous souhaitons ainsi limiter les variables externes.

Conformément aux principes de la déclaration d'Helsinki (1964 révisée en 2001), nous avons obtenu un accord écrit des badistes pour participer à notre étude à travers un formulaire de consentement éclairé transmis en même temps qu'une lettre d'information. La première phase expérimentale a été réalisée collectivement pour chaque club en début d'un créneau d'entraînement puis nous avons fixé des rendez-vous individuels pour la seconde phase à partir de Doodle (TX group, Zurich, Suisse). L'affiche de recrutement, la lettre d'information et le formulaire de consentement éclairé sont en annexe (Figures 10, 11 et 12).

2.3 Déroulement général

Le protocole est schématisé ci dessous (Cf. figure 1). La première phase expérimentale a pour but de déterminer à la fois la fréquence cardiaque de repos, la fréquence cardiaque maximale de nos participants ainsi que leur volume de pratique hebdomadaire, leur classement de simple et l'ensemble de leurs caractéristiques anthropométriques (sexe, taille, masse, pourcentage de masse grasse, âge). Nous avons réalisé ce test au gymnase de la Harpe avec le club du REC, puis à la salle Armor avec les membres de l'ASV, à des températures de $12,7 \pm 0,6$ °C. Dans un premier temps, nous avons fourni à chaque participant une montre Polar et une ceinture cardiofréquence-mètre, et nous leur avons demandé de rester en position allongée, pendant quinze minutes afin de mesurer leur fréquence cardiaque de repos. Nous leur avons ensuite ex-

pliqué le déroulement du test navette, lancé la mesure de FC et débuté l'exercice maximal à charge croissante sous forme de test navette.

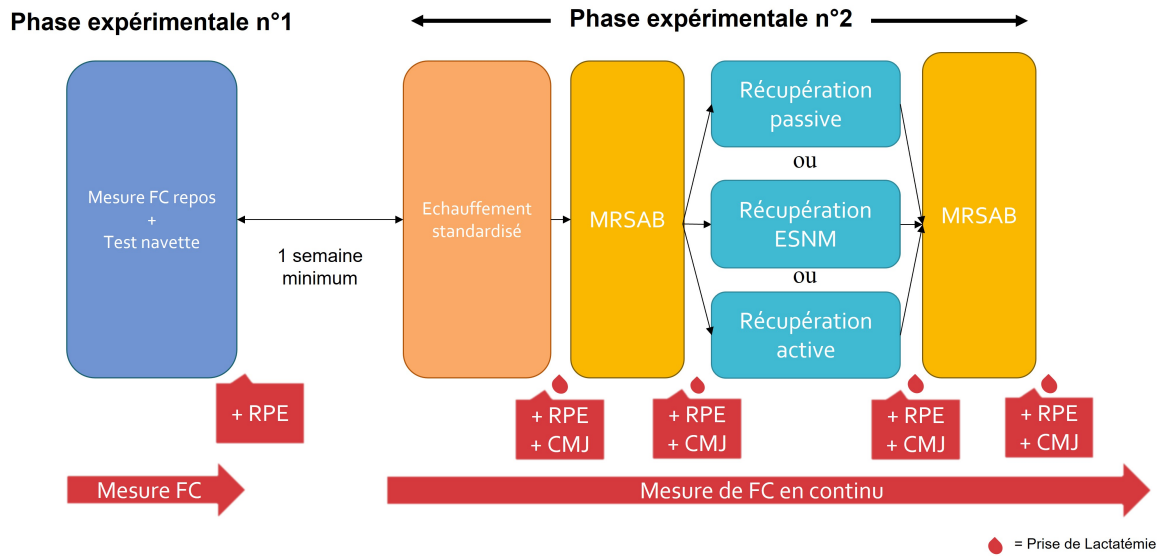


FIGURE 1 – Schéma représentant le déroulement du protocole mis en place

La deuxième phase expérimentale consistait à la réalisation de tests spécifiques au badminton, entrecoupés par une modalité de récupération spécifique. Nos participants ont réalisé dans un premier temps un échauffement standardisé, correspondant à l'échauffement habituel du club de Vezin (cf Annexe 13) afin de les placer dans les mêmes conditions initiales. Nous faisons ensuite réaliser une séquence d'apprentissage du test MRSAB, afin qu'ils se familiarisent au test physiologique et neuromusculaire qu'ils réaliseront. Par ailleurs, concernant notre collecte de données, nous conservons le même ordre à chacune des phases : saut en contre-mouvement (CMJ, dont la hauteur du saut est estimé par le Tapis de Bosco), une mesure psychométrique de la fatigue (RPE, selon l'échelle 6-20 de Borg) puis une prise de lactatémie (à l'aide du Lactate Pro 2). Nous réalisons une première collecte à l'issue de cette séquence de familiarisation pour avoir des valeurs préexercices dans des conditions similaires.

Les participants se plaçaient par la suite au niveau du centre du terrain modélisé par du ruban adhésif placé au sol. Nous lançons alors l'enregistrement de la fréquence cardiaque, puis le participant pouvait démarrer le test Multiple Repeated Sprint Ability for Badminton (MRSAB) en actionnant le buzzer permettant de mesurer le temps de réalisation du test. Une fois le test réalisé dans son intégralité, les mesures de CMJ, de RPE et de lactatémie étaient à nouveau réalisées, puis les participants réalisaient une récupération d'une quinzaine de minutes, selon la modalité qui leur a été attribuée de manière aléatoire (passive, active ou par électrostimulation). A l'issue de cette récupération, les 3 mesures étaient de nouveau effectuées. Enfin, les participants réalisaient une seconde fois le test MRSAB suivi d'une quatrième et dernière collecte de la puissance musculaire des membres inférieurs, de l'effort perçu et de la lactatémie. Finalement, la durée de l'expérimentation d'environ 48 ($\pm 2,8$) minutes par participant et cette seconde phase expérimentale s'est étendue sur trois semaines en débutant au moins une semaine

après la première phase. Celles-ci ont été conduites à 16 reprises avec une température moyenne de 13,7 ($\pm 1,6$). Toutes les expérimentations ont été réalisées entre 18 et 22h dans les salles mises à disposition par les clubs. Nous avons préalablement réalisé une session d'entraînement pour la première phase expérimentale, et deux sessions d'entraînement avec une badiste de niveau promotion et un étudiant en STAPS. Nous nous sommes formés aux appareils de mesures en répétant les manipulations plusieurs fois avant cette session d'entraînement.

2.4 Méthodes

2.4.1 Test navette : VMA et mesure indirecte du $\dot{V}O_{2max}$

Nous avons utilisé le test navette de [Léger et al. \(1988\)](#), développé initialement en 1982 par Léger & Lambert et conçu pour déterminer la PMA dans les sports avec des stops and starts fréquents. Ce test consiste à réaliser des allers retours sur un parcours de 20 mètres à une vitesse déterminée par un signal sonore émis à partir d'une bande pré-enregistrée (*SportBeeper, Saint-Laurent-la-Conche, France*). Le participant doit donc dépasser la ligne d'un parcours de 20 mètres, mesuré avec un odomètre et balisé avec des coupelles, à chaque demi-tour. La vitesse de départ est de 8,5 km/h et augmente de 0,5 km/h à chaque palier d'une minute. Le test s'arrête quand un participant ne peut plus suivre le rythme et n'atteint pas la ligne avant le bip à 2 reprises successives en raison de la fatigue. Ce test permet de prédire indirectement le prélèvement maximal d'O₂ à partir de la vitesse navette maximale grâce à une équation de régression linéaire. Il est alors valide et fiable pour la prédiction de $\dot{V}O_{2max}$ d'hommes et de femmes adultes, individuellement ou en groupes sur la plupart des surfaces de gymnase ([Léger and Gadoury, 1989](#)).

Afin de prédire $\dot{V}O_{2max}$, nous utilisons les équations de [Stickland et al. \(2003\)](#) utilisant le protocole de [Léger and Gadoury \(1989\)](#) avec un échantillon plus grand et plus homogène et obtenant ainsi un écart type plus faible. En effet, selon ces auteurs les équations linéaires employées par Léger et al. (1988) et Léger Gadoury (1989) sont biaisées et sous-estiment $\dot{V}O_{2max}$ pour les hommes et les femmes. Ainsi, nous utilisons les équations suivantes : Dans lesquelles Y représente le $\dot{V}O_{2max}$ prédit et X correspond au dernier palier atteint :

$$y = 2.75x + 28.8 \text{ pour les hommes (r}^2 = 0.77, \text{ Syx} = 4.07 \text{ mL/kg/min)}$$

$$y = 2.85x + 25.1 \text{ pour les femmes (r}^2 = 0.66, \text{ Syx} = 3.64 \text{ mL/kg/min)}$$

([Léger et al., 1988](#))

Nous avons alors calculé la VMA piste à partir de la vitesse maximale navette en utilisant la formule de [García and Secchi \(2013\)](#) :

$$\text{VMA} = 1,2 \times \text{vitesse navette maximale} - 0,7 \text{ (Femmes)}$$

$$\text{VMA} = 1,468 \times \text{vitesse nav max} - 3,597 \text{ (Hommes)}$$

2.4.2 Modalités de récupération

Entre les deux tests spécifiques au badminton, nos participants ont réalisé 15 minutes d'une modalité de récupération puis 5 minutes libres pour se recentrer sur l'effort à venir. En ajoutant la durée nécessaire à la collecte de données en début et fin de cette période, ils avaient 24 ($\pm 1,2$) minutes avant de débiter leur deuxième test, ce qui correspond à ce qui est vécu en compétition entre deux matchs. Nous avons toutefois proscrit toute autre modalité de récupération : nutrition (hydratation et alimentation), interventions basées sur la température (notamment refroidissement) et vêtements de compression.

La récupération par électrostimulation neuromusculaire se traduit par une stimulation du triiceps sural des deux jambes, en position assise et confortable, afin d'induire un effet systémique sur l'augmentation du flux sanguin. D'autre part, concernant la modalité de récupération active, nous avons choisi une intensité de récupération individualisée correspondant à celles décrites dans la littérature portant sur la resynthèse du glycogène (Choi et al., 1994; Fairchild et al., 2003) et sur la récupération d'efforts intermittents à haute intensité (Bieuzen et al., 2014; Borne, 2016). Néanmoins, à la différence de ces études qui utilisaient un ergocycle, nous avons choisi une modalité course à pied. Ainsi, nous avons matérialisé à l'aide de quatre plots un parcours, autour de deux terrains de badminton (chaque tour correspondant à 54,3 mètres), et émis un signal sonore à partir de l'application SmartWOD Timer (*SmartWOD fitness apps, Dresden, Allemagne*) à intervalles de temps constants correspondant à la durée permettant de réaliser ce parcours à 40%VMA. En effet, le concept de VMA permet de se rapprocher de vVO_{2max} (introduit par Léger Boucher, 1980). Finalement, en ce qui concerne la modalité de récupération passive, les participants se sont installés en position assise et confortable, dans des conditions identiques à ceux portant les électrodes VEINOPLUS.

2.4.3 Performance via le MRSAB

Le Multiple Repeated Sprint Ability for Badminton (MRSAB) consiste à reproduire la sollicitation physiologique d'échanges de badminton entrecoupés par une phase de récupération à court terme proche de celle mesurée en match par Phomsoupha (2016), c'est-à-dire 30 secondes.

Pour ce faire, nous avons conçu un buzzer à partir d'une pochette en carton maintenant espacés deux morceaux d'aluminium, reliés par des pinces crocodiles aux bornes « Space » et « Earth » d'un Makey Makey (*Joylabz, Santa Cruz, USA*). L'aluminium étant conducteur, le fait d'appuyer sur le carton permet de fermer le circuit. Ainsi, le Makey Makey, relié à un ordinateur, reçoit un signal à chaque fois que le circuit se ferme et effectue la commande « barre espace » du clavier de l'ordinateur.

Sur cet ordinateur, un chronomètre en ligne est ouvert (<https://chronometre.minuteur-en-ligne.fr/chronometre-temps-intermediaires#>), qui nous permet d'obtenir des temps intermédiaires à chaque fois que la commande barre espace est effectuée. Ainsi, en plus de nous permettre de récolter les durées de chaque déplacement, l'utilisation du buzzer, du makey makey

et du site internet nous permettait également de proposer assez précisément une récupération de 30 secondes à nos participants.

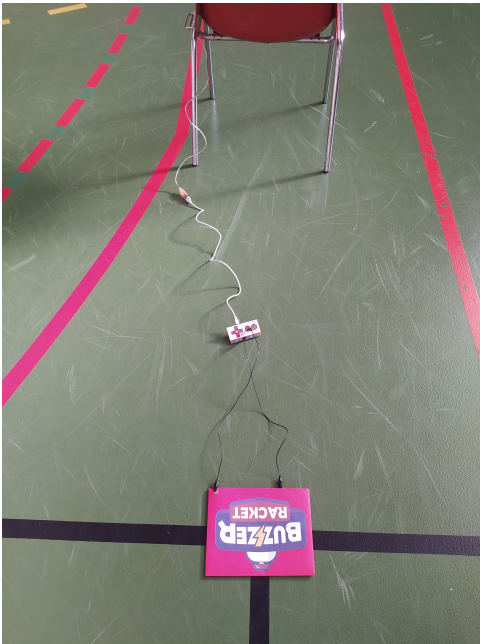


FIGURE 2 – Buzzer relié au Makey Makey lui-même relié à l'ordinateur

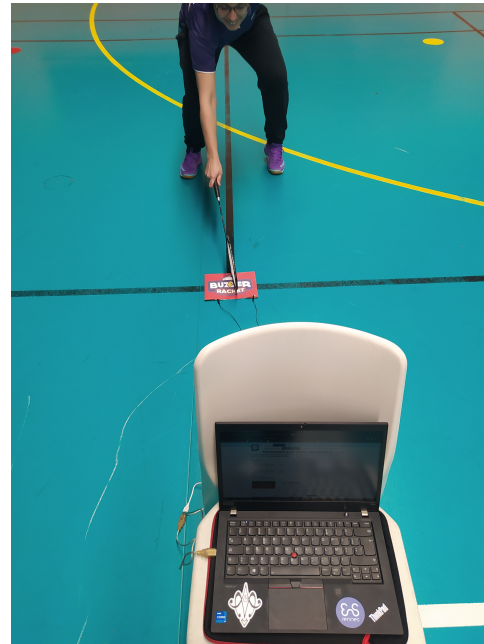
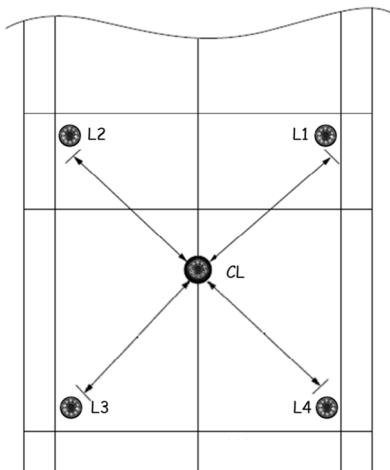


FIGURE 3 – Participant qui actionne le buzzer



Le MRSAB consiste à la réalisation de 10 répétitions de 16 déplacements spécifiques au badminton (correspondant à deux rotations) avec 30 secondes de récupération entre chaque répétition. Sur un demi-terrain de badminton, 5 leds sont placées : une au centre du terrain, et quatre autres positionnées aux quatre coins, à 3 mètres d'écart de celle du milieu. Le sujet doit se déplacer vers la led qui s'allume, effectuant ainsi des déplacements dans les 4 directions avec des changements de trajectoire de 90 degrés en se replaçant vers le centre du terrain. L'ordre est toujours le même, et est prédéfini : CL, L1, CL, L2, CL, L3, CL, L4, CL, réalisé deux fois de suite, et suivi de 30 secondes de récupération. Cependant, à la différence de (Phomsoupha, 2016), nous n'avons pas utilisé de leds, mais des pastilles en silicone, et nous avons demandé au participant de venir se replacer au centre du terrain (matérialisé par un morceau de ruban adhésif, positionné à 3,35m de la ligne du fond de court) après chaque déplacement, ainsi que de buzzer (le buzzer étant placé au niveau du « T » central, sur la ligne de service).

La validité de ce test consistant à reproduire la sollicitation physiologique d'un match

de badminton a été prouvée par (Phomsoupha et al., 2018), puisqu’il a révélé que l’intensité associée au MRSAB conduit à des lactatémies moyennes de pointe d’environ 10,8 mmol/L, associées à des valeurs de fréquence cardiaque proches de 90%FCmax, ce qui est conforme à ce que l’on retrouve dans des conditions réelles. De même, on retrouve une fatigue au niveau des membres inférieurs caractérisée par une diminution des sauts verticaux avant et après le test, comme le suggère les études analysant la fatigue des membres inférieurs au cours d’un match de badminton.

La reproductibilité du MRSAB a également été prouvée par Phomsoupha, en montrant que les participants réalisaient une performance comparable lors de deux tests effectués à une semaine d’intervalle.

Ainsi, utiliser le MRSAB semble une solution adaptée afin de recréer des conditions physiques comparables à celles produites pendant un match de badminton, tout en garantissant la reproductibilité des tests.

2.5 Matériel

2.5.1 Paramètres anthropométriques

Nous avons évalué les caractéristiques anthropométriques des participants à l’aide d’une balance Terraillon (*Fook Tin Technologies, Hong Kong*) permettant de recueillir la masse et le pourcentage de masse grasse.

2.5.2 Lactate sanguin

Nous réalisons un prélèvement sanguin sur un des doigts de la main de tenant pas la raquette après explication de la mesure. Pour ce faire, le participant réchauffe son doigt en le frottant vigoureusement contre la paume de sa main pendant que nous nous désinfectons les mains puis enfilons un gant à usage unique non stérile. Nous nettoyons l’extrémité du doigt avec une compresse imprégnée de désinfectant avant d’inciser la peau sur la face latérale de la troisième phalange du majeur, de l’annulaire ou de l’auriculaire à partir d’un autopiqueur (lancette) à usage unique. Nous essayons la première goutte avec une compresse stérile puis comprimons le doigt en amont de la troisième phalange et plaçons la seconde goutte sur le réactif, en étant vigilants à ne pas toucher la peau ou la sueur, en rapprochant la bandelette placée dans le lecteur au contact de la goutte.

Nous utilisons un dispositif portable d’analyseur de lactate (*Lactate Pro 2, Akray, Kyoto, Japon*), conçu pour mesurer des concentrations en lactates comprises entre 0,5 et 25 mmol/L, et dont la validité et la reproductibilité sont prouvées (Bonaventura et al., 2015). Il est notamment valide pour les valeurs proches du repos (entre 1 et 2 mmol/L) et pour des concentrations supérieures à 15 mmol/L, avec une erreur d’analyse variant entre 0,2 et 0,4 mmol/L, proche de celle des autres analyseurs du marché. Nous tâchons de respecter les consignes d’asepsie et d’hygiène indissociables d’un prélèvement sanguin (recommandations de la direction générale

de la sécurité civile et la gestion des crises, édition septembre 2019). Nous jetons finalement les déchets à risque infectieux dans une poubelle DASRI solide conçue pour les objets tranchants, piquants ou coupants.

2.5.3 Fréquence cardiaque

Nous utilisons un cardiofréquencemètre Polar M430 (*Polar, Kempele, Finlande*) placé au niveau du poignet des participants qui mesure en continu la fréquence cardiaque à une fréquence de 1Hz. Le signal est transmis grâce à une ceinture CL800 (*Polar, Kempele, Finlande*) munie de deux électrodes humidifiées placées au niveau de la poitrine. Nous exportons les données en .csv à partir du site polar.flow.com.

2.5.4 Puissance musculaire des membres inférieurs

Pour estimer la puissance des membres inférieurs, ainsi que son évolution au cours de notre protocole, nous avons utilisé un tapis de Bosco appelé Ergo Tester (*Globus, Codogné, Italia*), estimant la hauteur du saut réalisé à partir du temps d'envol (à partir d'équation horaires).

La validité et la reproductibilité du tapis de Bosco pour mesurer la puissance mécanique des muscles extenseurs des membres inférieurs pendant un saut ou une série de sauts ont été démontrés par ses créateurs ([Bosco et al., 1983](#)).

Concernant la réalisation du Counter Movement Jump, nous avons transmis les consignes d'utilisation suivantes aux participants : se placer sur le tapis de Bosco en position debout les mains sur les hanches, puis réaliser une flexion des genoux de 45 degrés, avant de sauter le plus haut possible jambes tendues, sans marquer de temps d'arrêt en flexion. Nous demandons également aux badistes de réatterrir à l'endroit où il saute. Selon [Markovic et al. \(2004\)](#), le CMJ représente, avec le Squat Jump, le test de terrain le plus fiable pour estimer la puissance explosive des membres inférieurs chez des hommes de bonne forme physique (en comparaison avec le Sargent jump, l'Abalakow's jump with arm swing, l'Abalakow's jump without arm swing, le triple saut sans élan et le saut en longueur sans élan). A l'aide du tapis de Bosco, nous obtenions des valeurs de hauteur de saut. A partir de ces données, nous avons ensuite pu calculer la puissance des membres inférieurs absolue à l'aide de la formule de ([Johnson and Bahamonde, 1996](#)) :

$$P_{max}(W) = 78,5 \times CMJ(cm) + 60,6 \times Masse\ corporelle(kg) - 15,3 \times Taille(cm) - 1308$$

2.5.5 Perception de l'effort

Nous avons mesuré la perception de l'effort (score RPE : Rating of Perceived Exertion), définie comme l'ensemble des sentiments d'effort, de contrainte, d'inconfort et de fatigue, qu'une personne éprouve durant un exercice ([Coquart et al., 2011](#)). Pour ce faire, les participants nous ont communiqué leur évaluation de la fatigue à partir de l'échelle de [Borg \(1982\)](#) traduite en français ([Coquart et al., 2011](#)) et s'étendant de 6 à 20, imprimée sur une feuille A4 en

répondant à la question : « actuellement, comment percevez-vous l'effort effectué ? ». Les valeurs impaires sont associées à une description subjective de la perception de l'effort (avec 7 : très très léger et 19 : très très dur). Par ailleurs, les variables physiologiques (ventilation, FC, $\dot{V}O_2$) et perceptuelles (RPE) ne présentent pas de différence pour une même charge de travail présentée dans un ordre aléatoire ou obtenue au cours d'un test progressif (Skinner et al., 1973). Cette mesure psychométrique apparaît alors fiable et valide.

2.5.6 Stimulation électrique

La stimulation électrique a été réalisée à l'aide de deux électrodes auto-adhésives de marque VEINOPLUS® (*Ad Rem Technology, Paris, France*). Ces électrodes de 8 cm par 13 cm sont positionnées sur la face postérieure du triceps sural, au niveau médio-central. Les participants ajustaient eux-mêmes l'intensité de stimulation en l'augmentant progressivement selon leur tolérance sur une gamme de 20 à 40 V, jusqu'à ce que des contractions soient visibles au niveau du muscle du mollet, sans qu'aucune douleur n'apparaisse.

Nous avons utilisé un appareil VEINOPLUS® Arterial modèle 2.1 (*Ad Rem Technology, Paris, France*), dont les paramètres de stimulations sont basés sur le brevet déposé par Cywinsky (2012), afin d'induire une contraction rythmique des deux mollets permettant la compression du réseau veineux profond et intramusculaire des triceps suraux entraînant un flux sanguin forcé au niveau des jambes vers le cœur. Les impulsions, issues d'une pile de 6 à 9 V, sont rectangulaires, bidirectionnelles, à haute fréquence (250 Hz) et de très courte durée (5 à 200 μ s). Elles sont délivrées selon un programme pré-établi par l'appareil, au cours duquel le rythme de contraction varie toutes les 5 minutes, dans une gamme allant de 1,5 Hz à 0,5 Hz.

Nous avons transmis les consignes d'utilisation suivantes, et supervisé leur application.



FIGURE 4 – Placement des électrodes

1. S'installer dans une position confortable, assise ou semi allongée
2. Retirer le film plastique des électrodes sans tirer sur le câble
3. Relier le câble aux électrodes puis à l'appareil VEINOPLUS®
4. Allumer le stimulateur
5. Augmenter progressivement l'intensité de la stimulation en appuyant sur la touche « + » jusqu'à voir et sentir des contractions profondes.
6. Diminuer progressivement l'intensité et éteindre le stimulateur avec la touche ON/OFF après 15 minutes de stimulation, puis déconnecter les électrodes.
7. Replacer les électrodes sur la face ON du film plastique et les repositionner dans les sachets hermétiques.

Cependant, si [Malone et al. \(2014\)](#) soulèvent qu'il manque de certitude quant à la capacité d'induire des effets sur le flux sanguin systémique et/ou local pour certains appareils d'électrostimulation, l'efficacité du VEINOPLUS® sur la stimulation du flux sanguin via l'effet de pompe, ainsi que son mode de fonctionnement non invasif et douloureux est validé ([Hausswirth, 2013](#), p. 296). En outre, le brevet de [Cywinski \(2012\)](#) préconise de placer les électrodes au niveau des muscles du mollet, qui seraient responsables de 80% de retour veineux, et peuvent être considérés comme une pompe musculoveineuse ([Bieuzen et al., 2014](#)).

2.5.7 Analyse des données

Nous avons reporté la variation de performance temporelle entre le premier et le deuxième MRSAB (en secondes), la lactatémie (en mmol/L), la puissance musculaire des membres inférieurs (W/kg), la RPE et le pourcentage de fréquence cardiaque maximale moyen (battements par minute) dans une feuille Excel (*Microsoft corporation*) comportant une colonne par variable et quatre lignes par participants correspondant aux quatre temps de mesure. Nous avons réalisé une double saisie à partir des fiches d'expérimentations. Pour la récupération, nous avons pris la FC moyenne de X à X minutes. Nous avons alors réalisé des statistiques descriptives sur une autre feuille du fichier ©Excel en calculant les moyennes et écarts types de ces variables pour les trois groupes de modalité de récupération. Nous avons affiché ces statistiques de position et de dispersion à partir d'un histogramme. Nous avons alors supprimé les valeurs aberrantes, éloignées à plus de trois écarts-types de la moyenne.

2.5.8 Analyse statistique

Nous avons effectué nos analyses statistiques sur le logiciel ©R version 4.1.2 (The R foundation for statistical computing, 2021-11-01). Nous avons dans un premier temps testé la distribution de nos données à partir d'histogrammes et du test de Shapiro-Wilk ainsi que l'homogénéité de nos données grâce au test de Bartlett. Ensuite, pour répondre aux objectifs du mémoire nous souhaitons comparer les moyennes de trois groupes à travers des tests d'hypothèses. Ainsi, nous avons réalisé des analyses de variance dont l'hypothèse nulle stipule que les moyennes des groupes sont comparables en retenant un risque $\alpha = 5\%$ et $\beta = 20\%$. Les conditions d'utilisation des analyses de variances (ANOVA) sont une homogénéité des variances des échantillons, des données indépendantes et normalement distribuées. Nous avons utilisé une ANOVA à une voie pour comparer la variation de performance temporelle entre les deux tests spécifiques au badminton en fonction des trois modalités de récupération. Nous aurions réalisé un test de Kruskal-Wallis si les variances des échantillons n'étaient pas égales. De plus, nous avons réalisé une ANOVA à deux facteurs afin d'étudier l'influence de la modalité de récupération et du temps de mesure (repos, MRSAB 1, récupération, MRSAB 2) sur la lactatémie, la puissance musculaire des membres inférieurs, la RPE et le pourcentage de fréquence cardiaque maximal. Ce test n'a pas d'équivalent non paramétrique à notre connaissance.

3 Résultats

3.1 Population

Entre décembre et janvier 2022, 19 participants ont été recrutés. Les expérimentations ont été réalisées de janvier à mars 2022. Cependant, l'un de nos participants s'étant blessé entre la phase expérimentale 1 et 2, il n'a pas pu être pris en compte dans notre étude. Ainsi, $n=18$. Le tableau 2 présente les caractéristiques générales de la population étudiée dans ce mémoire.

Modalité de récupération	ESNM (n=6)	Active (n=6)	Passive (n=6)	Population (n=18)
Sexe (M/F)	3/3	3/3	3/3	9/9
Age (années)	$29,0 \pm 6,2$	$29,8 \pm 5,0$	$29,7 \pm 4,4$	$30,0 \pm 4,9$
Taille (cm)	$170,2 \pm 13,6$	$172,7 \pm 11,5$	$176,2 \pm 6,1$	$173,0 \pm 10,5$
Poids (kg)	$69,9 \pm 10,6$	$67,4 \pm 12,2$	$69,6 \pm 12,5$	$69,0 \pm 11,1$
IMC (kg/m^2)	$24,3 \pm 4,1$	$22,5 \pm 2,9$	$22,4 \pm 3,7$	$23,1 \pm 3,5$
%MG	$24,0 \pm 10,7$	$21,4 \pm 10,3$	$20,5 \pm 5,5$	$22,0 \pm 8,7$
Volume horaire de pratique (h/semaine)	$5,0 \pm 0,9$	$4,7 \pm 1,0$	$4,7 \pm 1,0$	$4,8 \pm 0,9$
FC repos (bpm)	76 ± 2	74 ± 8	72 ± 9	$74 \pm 6,6$
FC max mesurée (bpm)	197 ± 12	194 ± 4	192 ± 11	$194 \pm 9,1$
$\dot{V}O_{2max}$ ($\text{mL}/\text{min}/\text{kg}$)	$47,38 \pm 8,28$	$46,94 \pm 1,34$	$47,47 \pm 5,99$	$47,26 \pm 6,61$

TABLE 2 – Caractéristiques de la population étudiée

3.2 Performance temporelle aux MRSAB

Une ANOVA une voie a été réalisée pour comparer l'effet des modalités de récupération sur la variation de performance temporelle entre les deux tests spécifiques au badminton (MRSAB). L'ANOVA une voie a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative dans la variation de performance temporelle entre les trois groupes ($F(2,17) = 0,303, p = .743$). Nous avons retrouvé des valeurs moyennes de 16.37 ± 1.79 secondes lors du premier test, et 15.75 ± 1.84 secondes lors du deuxième test, pour l'ensemble de la population étudiée.

La Figure 5 présente les performances temporelles pour les deux MRSAB suivant la modalité de récupération. Les points représentent les valeurs retrouvées pour chacun de nos participants. Nous pouvons remarquer que l'ensemble des écarts-types se chevauchent, ce qui confirme la non-significativité des différences de performance temporelle entre nos trois groupes.

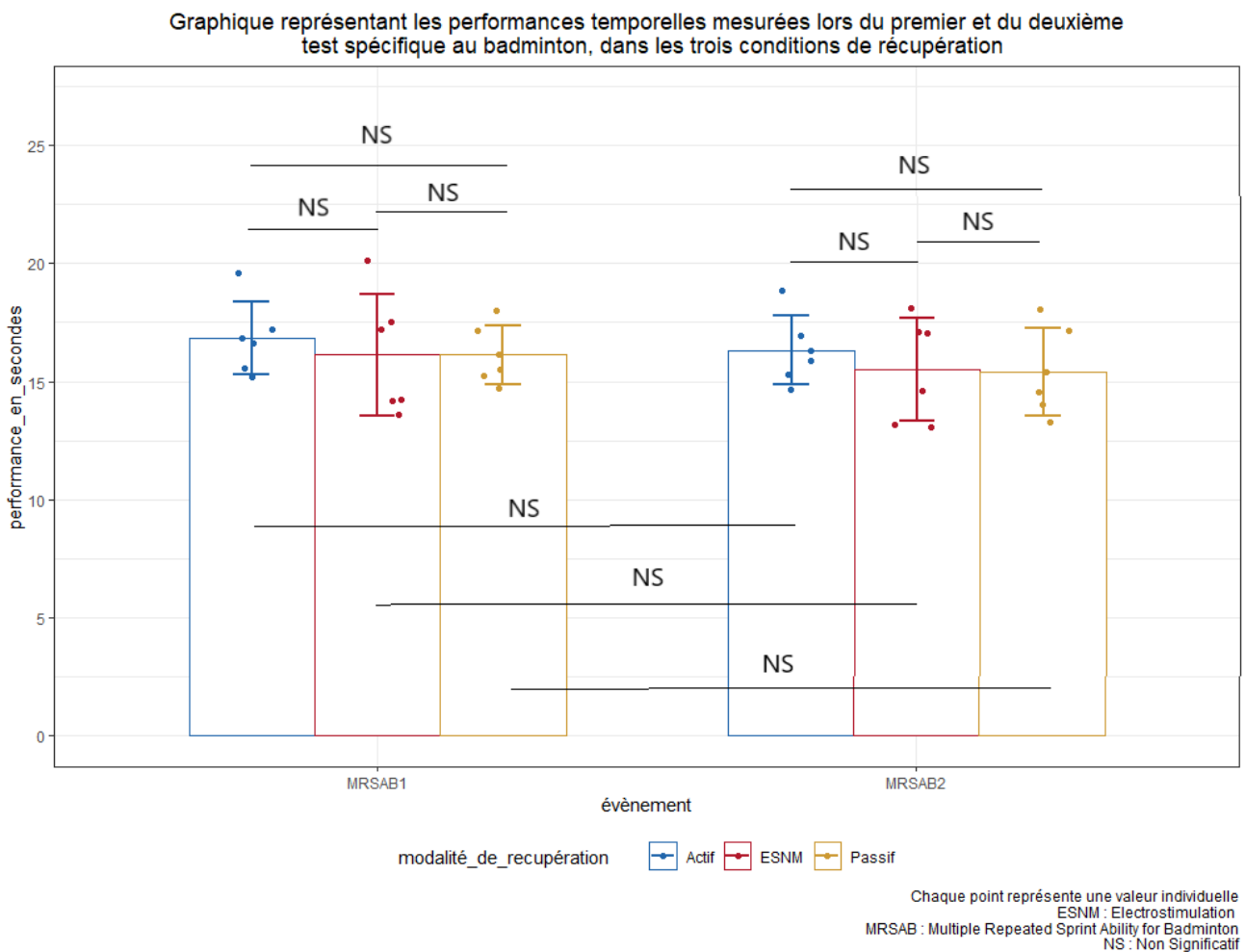


FIGURE 5 – Diagramme en bâton présentant les performances temporelles de nos participants au premier et au deuxième test spécifique au badminton dans les trois conditions de récupération.

3.3 Objectifs secondaires

Nous avons réalisé une analyse de variance (ANOVA) 2-voies pour analyser l'effet de la modalité de récupération et du temps de mesure sur la **lactatémie**. L'ANOVA à deux facteurs a révélé qu'il n'y avait pas d'interaction statistiquement significative entre les effets de la modalité et du temps de mesure ($F(6,17) = 1,023, p=.419$). Une analyse simple des principaux effets a montré que les modalités n'ont pas d'effet statistiquement significatif ($F(2,17)=2,083, p=.133$) et que les événements ont un effet significativement significatif sur la lactatémie ($F(3,17) = 11,428, p<.001$). Un test post-hoc TukeyHSD ne montre pas de différence significative entre les deux MRSAB ($p=.987$). Concernant la lactatémie, nous avons retrouvé des valeurs moyennes de $10,4 \pm 3,77 \text{ mmol.L}^{-1}$ lors du premier test, et $10,81 \pm 3,52 \text{ mmol.L}^{-1}$ lors du deuxième test, pour l'ensemble de la population étudiée.

Nous avons réalisé une ANOVA à deux facteurs pour analyser l'effet de la modalité de récupération et du temps de mesure sur la **puissance musculaire des membres inférieurs**. L'ANOVA à deux facteurs a révélé qu'il n'y avait pas d'interaction statistiquement significative entre les effets de la modalité et du temps de mesure ($F(6,17) = 0,498, p=.807$). Une analyse simple des principaux effets a montré que ni les modalités, ni les temps de mesure n'ont d'effet statistiquement significatif sur la puissance musculaire des membres inférieurs (respectivement $F(2,17) = 0,240, p=.788$ et $F(3,17) = 1,045, p=.379$). Concernant la puissance musculaire des membres inférieurs, nous avons retrouvé des valeurs moyennes de $39,84 \pm 6,64 \text{ W.kg}^{-1}$ lors du premier test, et $38,76 \pm 6,30 \text{ W.kg}^{-1}$ lors du deuxième test, pour l'ensemble de la population étudiée.

Nous avons réalisé une ANOVA à deux facteurs pour analyser l'effet de la modalité de récupération et du temps de mesure sur la **RPE**. L'ANOVA à deux facteurs a révélé qu'il y avait une interaction statistiquement significative entre les effets de la modalité et du temps de mesure ($F(6,17) = 2,535, p=.029$). Une analyse simple des principaux effets a montré que les modalités n'ont pas d'effet statistiquement significatif ($F(2,17) = 0,472, p=.626$) alors que les événements ont un effet sur la RPE ($F(3,17) = 58,749, p<.001$). Un test post-hoc TukeyHSD ne montre pas de différence entre les deux MRSAB ($p=.7211399$). Concernant l'effort perçu, nous avons retrouvé des valeurs moyennes de $15,46 \pm 2,40$ lors du premier test, et $14,73 \pm 1,41$ lors du deuxième test, pour l'ensemble de la population étudiée.

Nous avons réalisé une ANOVA à deux facteurs pour analyser l'effet de la modalité de récupération et du temps de mesure sur le **pourcentage de fréquence cardiaque maximale**. L'ANOVA à deux facteurs a révélé qu'il y avait une interaction statistiquement significative entre les effets de la modalité et du temps de mesure ($F(4,17) = 2,883, p=.033$). Une analyse simple des principaux effets a montré que les modalités ($F(2,17) = 8,504, p<.001$) et les temps de mesure ($F(2,17) = 204,614, p<.001$) ont montré un effet statistiquement significatif sur le pourcentage de FC max. Un test post-hoc TukeyHSD ne met pas en avant de différence si-

gnificative entre les deux MRSAB ($p=.404$). Au cours de la récupération, le test post-hoc met en avant une différence entre la modalité active et les modalités passives ($p=.001$) et ESNM ($p=.003$) mais pas entre les modalités passives et ESNM ($p=.999$). Concernant le pourcentage de fréquence cardiaque maximale, nous avons retrouvé des valeurs moyennes de $90,27 \pm 4,86$ %FCmax lors du premier test et $87,98 \pm 4,56$ %FCmax du deuxième test, pour l'ensemble de la population étudiée. Lors de la récupération, nous obtenions des valeurs de fréquence cardiaque maximale de $67,18 \pm 4,51$ %FCmax pour la récupération active, $54,04 \pm 6,60$ %FCmax pour la récupération par ESNM et $53,33 \pm 7,39$ %FCmax pour la récupération passive.

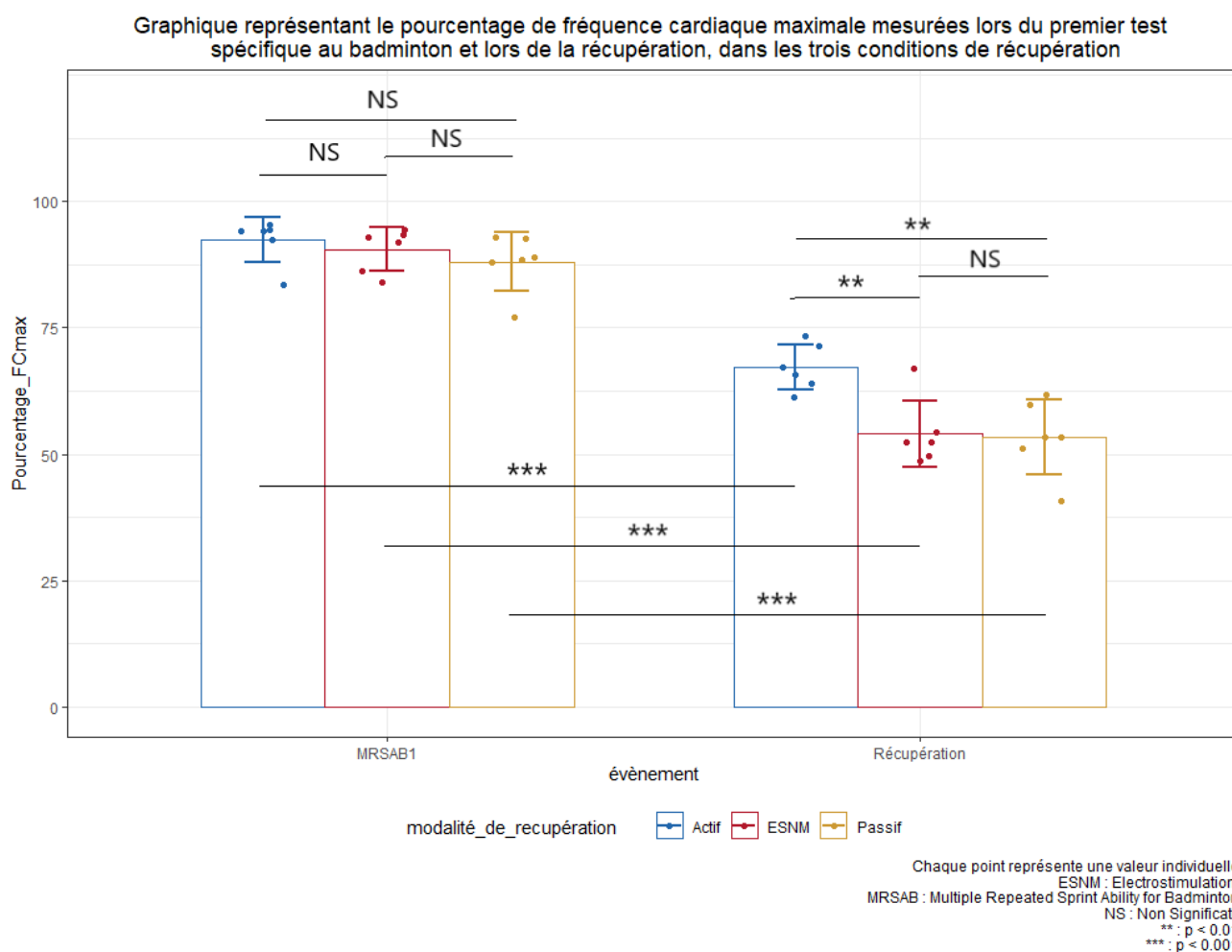


FIGURE 6 – Diagramme en bâton présentant le pourcentage de fréquence cardiaque maximale de nos participants mesurées lors du premier et du deuxième test spécifique au badminton, ainsi que lors de la récupération, dans les trois conditions de récupération.

4 Discussion

L'objectif de notre mémoire était de montrer un effet positif de la récupération par électrostimulation par rapport aux modalités passives et actives sur la performance au cours d'un test spécifique au badminton. Nos résultats n'indiquent pas de différence de performance temporelle entre les trois groupes étudiés. Cependant, la fréquence cardiaque au cours de la récupération entre les deux tests spécifiques est plus élevée au cours d'une récupération active qu'au cours de récupérations passives et ESNM.

4.1 Performance temporelle aux MRSAB

Nous n'avons pas observé de différence de variation de performance temporelle entre les deux tests spécifiques au badminton pour les trois modalités de récupération. Par ailleurs, les valeurs obtenues, respectivement de $16,4 \pm 1,8$ secondes et $15,8 \pm 1,8$ secondes lors des premier et deuxième tests, sont en accord, bien qu'un peu moins élevées, avec l'étude de [Phomsoupha \(2016\)](#), qui avait obtenu des valeurs moyennes de l'ordre de 17,4 secondes pour la population de niveau départementale, durant l'ensemble du test spécifique au badminton (MRSAB).

Cependant, les conclusions de la thèse de [Borne \(2016\)](#), constituée de trois études, affirment à partir des deuxième et troisième études – stimulant respectivement quinze et trente minutes les triceps suraux de handballeuses de niveau national ou international et de kayakistes élites en position assise – que l'ESNM permet une meilleure récupération de performance pour des exercices à haute intensité et répétés à court terme qu'une modalité passive. Sur le plan méthodologique, avec notre choix du MRSAB, nous nous éloignons de ces études, où sont réalisés un Yo-Yo IR2 et un exercice simulant une course de 1000 mètres en kayak sur ergomètre. Ses résultats confortent d'ailleurs ceux de son directeur de thèse qui observe une amélioration de la performance anaérobie chez des footballeurs professionnels dans le cadre d'une récupération de plusieurs exercices intermittents supra-maximaux, reproduisant la fatigue d'un match, avec une récupération de 20 minutes par ESNM par rapport à une modalité passive ([Bieuzen et al., 2012](#)). Cette amélioration de la performance anaérobie, mesurée à partir d'un test maximal de trente secondes sur ergomètre d'aviron, était visible après une heure de récupération ([Bieuzen et al., 2012](#)). Néanmoins, nos résultats sont en accord avec les conclusions de la revue de [Malone et al. \(2014\)](#), qui reflètent un effet limité d'une modalité de récupération par électrostimulation sur la performance. En effet, une absence d'effet positif de l'électrostimulation sur la récupération de la performance est montrée dans plusieurs travaux. Par exemple, [Lattier et al. \(2004\)](#) obtient des résultats similaires aux nôtres en utilisant une méthodologie s'approchant davantage de nos choix, bien qu'employant un stimulateur différent (Digimeter Stimulator, Hertfordshire, England) et des électrodes plus petites (10*5 cm) placées au niveau du triangle de Scarpa et du grand fessier. En effet, ces auteurs utilisent comme test la répétition de dix courses d'une minute chacune à 120 % de VMA. En récupération passive, les participants restaient assis tandis que la récupération active consistait en une course sous-maximale à 50% de VMA. Les stratégies de récupération avaient une durée de 20 minutes. De la même façon, [Tessitore et al.](#)

(2007) n'obtient pas d'effets positifs pour vingt minutes d'électrostimulation du quadriceps avec un SportP (*Complex, Basel, Suisse*) par rapport à une récupération passive ou active pour des footballeurs élites entre deux entraînements standardisés d'1 heure 40 espacés de cinq heures de repos (dont 20 minutes de modalité de récupération). A notre connaissance, il n'y a pas d'études qui stimulent le quadriceps et les ischio-jambiers qui aient des résultats. Finalement, il semblerait que les stratégies de récupération que nous avons testées aient moins d'impact que certains facteurs, dont la jeunesse (Ratel et al., 2002), la condition physique (Spierer et al., 2004), un régime alimentaire équilibré (McAinch et al., 2004), l'hydratation (Judelson et al., 2007), un sommeil suffisant (Richmond et al., 2004) et un faible niveau de détresse psychologique chez l'individu (Kellmann, 2010). Les stratégies de récupération auraient alors un impact faible en comparaison à ces variables confondantes et seraient difficiles à détecter (Cortis et al., 2010). Néanmoins, la performance reste déterminée par des paramètres physiologiques et les effets positifs de la récupération active sont généralement attribuée à l'élimination accélérée de sous-produits métaboliques tels que H^+ ou Pi (Yoshida et al., 1996). Nous avons conçu notre protocole d'ESNM pour augmenter le flux sanguin systémique afin de faciliter le recyclage de ces métabolites.

4.2 Lactatémie

Nous avons obtenu des lactatémies de respectivement de $10,4 \pm 3,8$ mmol.L⁻¹ et $10,8 \pm 3,5$ mmol.L⁻¹ à l'issue des premier et deuxième tests, en cohérence avec les valeurs publiées par Phomsoupha (2016), de $11,3$ mmol.L⁻¹ pour des niveaux départementaux. Par ailleurs, nous n'avons pas observés de différences entre les trois modalités malgré une diminution de la lactatémie au cours de la récupération. Nous retrouvons alors des conclusions similaires à la troisième étude de la thèse de Borne (2016) et aux travaux de Malone et al. (2012) qui utilisaient tous deux des récupérations de 30 minutes. Cependant, ces résultats font dissensus avec les publications de Bieuzen et al. (2014) et les autres études de la thèse de Borne (2016) qui utilisaient pourtant des appareils d'ESNM similaires aux nôtres au même seuil d'intensité dans le but d'induire des contractions pour augmenter le flux sanguin. Nous aurions donc des difficultés à conclure que la stimulation des fibres musculaires ait généré du lactate masquant l'effet de tamponnage de l'acidose, d'une oxydation du lactate pour rentrer dans le cycle de Krebs au sein des muscles actifs ou au repos ou d'une possible réplétion glycogénique dans le foie, le lactate étant une source majeure de carbone pour la réplétion des stocks de glycogènes en l'absence d'apport nutritif, à travers notamment le cycle de Cori (lactate -> pyruvate -> glucose). Ainsi, la concentration de lactate dans le sang est un marqueur indirect résultant d'un équilibre entre production et consommation à un instant donné et le renouvellement du lactate peut donc être accéléré ou freiné sans modification de la lactatémie (Lamb and Stephenson, 2006). Nous sommes donc conscients des limites de l'utilisation de ce marqueur de la fatigue.

4.3 Perception de l'effort

Les valeurs de RPE obtenues sont respectivement de $15,5 \pm 2,4$ et de $14,7 \pm 1,4$ pour le premier et le deuxième test. Elles sont en accord, bien qu'un peu moins élevées, avec les valeurs retrouvées à l'issue d'un MRSAB par [Phomsoupha \(2016\)](#), c'est à dire de l'ordre de 15,8.

De plus, le fait que nous n'ayons pas trouvé de différence significative selon la modalité de récupération est en accord avec la littérature scientifique. En effet, [Bieuzen et al. \(2014\)](#) et [Borne \(2016\)](#) ne retrouvent pas de différences claires entre les conditions de récupération sur la RPE mesurée à la fin des Yo-Yo IR2 tests et des 1000 mètres sur rameur-ergomètre. Cependant, [Cortis et al. \(2010\)](#), malgré l'absence d'effet des conditions de récupération sur la variation de RPE, expliquent que les effets psychologiques de ces stratégies d'intervention pour promouvoir les sentiments de bien-être ne doivent pas être sous-estimés. En effet, les participants ont déclaré se sentir plus fatigués après l'intervention de récupération active et passive par rapport aux interventions ESNM. L'étude de [Malone et al. \(2012\)](#) révèle les mêmes résultats. Cependant, étant donné que notre étude n'est pas croisée, nous n'avons pas pu prendre l'avis de nos participants, qui n'ont vécu qu'une sorte de modalité de récupération chacun. Nous ne pouvons donc pas conclure quant aux stratégies de récupération permettant un meilleur sentiment de bien-être chez nos sujets.

4.4 Puissance

Nous n'avons pas observé d'influence des trois modalités de récupération sur la puissance musculaire des membres inférieurs. Les valeurs obtenues sont de $39,84 \pm 6,64$ W/kg à l'issue du premier test et de $38,76 \pm 6,30$ W/kg pour le deuxième test sont en accord avec les valeurs retrouvées par [Phomsoupha \(2016\)](#), qui avait obtenu des valeurs de pics de force de 39 W/kg à l'issue du MRSAB. Nos conclusions sont en cohérence avec les résultats de [Tessitore et al. \(2007\)](#) qui mesure la puissance après deux entraînements de football standardisés espacés de cinq heures dont 20 minutes d'une stratégie de récupération. Finalement, à notre connaissance, peu d'études avec une méthodologie s'approchant de la notre ont mesuré la puissance des membres inférieurs.

4.5 Pourcentage de fréquence cardiaque maximale

Nous avons mesuré des FC de $90,27 \pm 4,86$ % FC_{max} lors du premier test et de $87,97 \pm 4,55$ % FC_{max} lors du deuxième test, en accord avec les valeurs retrouvées par [Phomsoupha \(2016\)](#), qui avait obtenu des valeurs de 92% FC_{max} pour la population de niveau départementale au cours d'un MRSAB. De plus, nous avons observé un pourcentage de fréquence cardiaque maximale au cours de la récupération plus important en modalité active (en moyenne $67,18 \pm 4,51$ % FC_{max}) qu'en modalités ESNM et passive. Nos résultats s'inscrivent donc dans la continuité de ceux de [Bieuzen et al. \(2014\)](#) et de [Borne \(2016\)](#) qui obtenaient des moyennes proches de 70% FC_{max} en modalité active et de 50% FC_{max} pour les conditions passives et ESNM sans différences significative entre ces deux dernières modalités. Ainsi, la récupération

par ESNM semble se rapprocher d'une situation de repos alors que la modalité active induirait une dépense énergétique supérieure sans toutefois induire une différence en termes de performance. Nous pensons que l'absence de différence entre les RPE des trois groupes au cours de la récupération entre les deux tests contribue à expliquer cette absence de différence d'effets entre les modalités actives et ESNM en contrebalançant la différence de pourcentage de FC_{max} moyen.

4.6 Limites du travail

Concernant les limites méthodologiques de notre étude, le nombre de sujets semble être insuffisant pour pouvoir généraliser les résultats de notre étude, puisque seuls 18 badistes y ont participé, c'est à dire 6 par modalité de récupération. De plus, sa validité externe est limitée étant donné que notre étude concerne uniquement des badistes de niveau départemental (bien que cette catégorie soit la plus représentée).

De plus, concernant la modalité de récupération passive, nous avons décidé de faire courir nos participants à 40% de leur VMA que nous avons mesurés lors de la première partie de notre protocole. Cependant, nous avons l'intention de reproduire une sollicitation de 40% $\dot{V}O_{2max}$, valeur retrouvée dans la majorité des études portant sur notre sujet. Cependant, n'ayant pas la possibilité de mesurer la $\dot{V}O_{2max}$, nous avons déterminé la fréquence cardiaque de réserve (FCR) correspondant à 40% $\dot{V}O_{2max}$ à l'aide de la formule de [Swain and Leutholtz \(1997\)](#). Nous avons ensuite voulu déterminer la vitesse à laquelle devaient courir nos sujets pour susciter ce pourcentage de fréquence cardiaque de réserve (%FCR), à partir des données du test navette de [Leger and Boucher \(1980\)](#). Néanmoins, nous nous sommes rendus compte que la fréquence cardiaque de réserve correspondant à 40% $\dot{V}O_{2max}$ avait déjà été dépassée avant même que le test navette ne commence. Nous avons donc dû nous résoudre à abandonner cette méthode, et choisir une autre option : celle de faire courir nos participants à 40% de leur VMA calculée à partir de leur performance au test Léger et al.

Enfin, nous pouvons noter que rien ne nous permet d'affirmer que l'activation du mollet lors de la récupération active est la même que celle de la stimulation électrique. Il serait donc intéressant de comparer les électromyogrammes des triceps suraux dans ces deux conditions, pour s'assurer que la comparaison des deux modalités est valable.

Concernant les limites de réalisation, l'exécution du Multiple Repeated Sprint Ability for Badminton (MRSAB), bien qu'adaptée aux moyens que nous avons, semble convenable puisque les résultats des variables physiologiques sont proches de celles retrouvées par [Phomsoupha \(2016\)](#) dans sa thèse. Cependant, bien que nous ayons fait réaliser une séquence de familiarisation au MRSAB (répétition de 3 cycles) à la fin de leur échauffement, celle-ci a semblé insuffisante. En effet, l'amélioration de la performance temporelle de nos sujets lors de la deuxième exécution du test ne peut s'expliquer que par un "effet apprentissage". Une séquence de familiarisation plus importante et en amont du jour du test aurait été plus pertinente afin de limiter les biais.

Une autre limite à notre étude réside dans le fait que nous n'ayons réalisé que quatre prises de lactatémies, avant et après le premier test et avant et après le deuxième test, ce qui n'est pas assez pour voir une différence de cinétique en fonction de la modalité de récupération. Enfin, concernant la stimulation électrique des triceps suraux, notre demande était qu'une contraction profonde du mollet soit visible. Cependant, en fonction de leur sensibilité, nos sujets réglaient l'intensité de la stimulation, dans une fourchette de 20 à 40V. Cette différence pourrait également constituer une limite, puisque nous ne pouvons pas être certains qu'ils aient tous été soumis aux mêmes conditions de récupération.

5 Perspectives

La première perspective de travail qui découle de notre mémoire portant sur les modalités de récupération serait d'étudier l'effet de leurs intensités. Nous ne pouvions en effet pas comparer l'ESNM et la RACT car il n'existe pas dans la littérature à notre connaissance d'étude de l'activité musculaire et métabolique liée à l'ESNM. De plus, nous ne savions pas quels muscles des membres inférieurs sont principalement recrutés en badminton, et une étude électromyographique de leur activité permettrait de placer des électrodes visant un effet local d'augmentation du flux sanguin. Finalement, en badminton, les membres inférieurs sont plus touchés par les blessures que les membres supérieurs ou le dos, avec respectivement 58% contre 31% et 11% ([Jørgensen and Winge, 1990](#)). Les tendons des muscles des membres inférieurs sont en effet soumis à de fortes pressions lors de chaque mouvement. De plus, l'apparition de la fatigue influence la façon dont les fentes sont effectuées et la façon dont les sauts sont reçus, et rend ces tendons moins puissants et plus instables ([Phomsoupha and Laffaye, 2020](#)). En outre, les blessures au bras et à l'épaule en badminton sont en grande partie dues à une technique défectueuse, tandis que les blessures aux jambes et au dos sont principalement causées par un manque de force ou de mobilité, du fait de la fatigue accumulée ([Phomsoupha and Laffaye, 2020](#)). Il nous semble intéressant d'étudier l'effet des modalités de récupération sur l'incidence des blessures au niveau des membres inférieurs.

6 Conclusion

Nous avons montré dans cette étude que les modalités de récupération passive, active et par électromyostimulation ne semblent avoir aucun effet significatif sur la restauration de la performance, dans le cadre d'efforts intermittents répétés à court terme modélisés par un test spécifique au badminton.

De plus, aucune différence significative n'a été démontrée entre les effets des différentes modalités de récupération sur la restauration de la lactatémie, de la puissance musculaire des membres inférieurs, de la perception de l'effort et du pourcentage de fréquence cardiaque maximale entre le premier et le deuxième test.

L'intérêt d'utiliser une modalité de récupération par électrostimulation semble donc limité pour la répétition de mouvements spécifiques au badminton, en comparaison avec une modalité active ou passive. Ce sujet étant très controversé dans la littérature scientifique, notre étude apporte donc son soutien aux études ne démontrant pas d'avantages à l'utilisation de stimulations électriques durant la récupération. Cependant, cette absence d'effet positif de l'électrostimulation pourrait s'expliquer par le fait qu'il soit trop faible pour être mesuré, en comparaison à d'autres facteurs plus explicatifs tels que l'âge, la condition physique ou les conditions de sommeil.

Il semblerait néanmoins intéressant de reconduire cette étude dans de meilleures conditions de réalisation, notamment en proposant des séances de familiarisation au test spécifique au badminton davantage fonctionnel, ce qui limiterait les biais liés à l'effet apprentissage, retrouvé pour l'ensemble de notre population.

Références

- Abian-Vicen, J., Castanedo, A., Abian, P., Gonzalez-Millan, C., Salinero, J. J., and Coso, J. D. (2014). Influence of Successive Badminton Matches on Muscle Strength, Power, and Body-Fluid Balance in Elite Players. International Journal of Sports Physiology and Performance, 9(4) :689–694.
- Ahmaidi, S., Granier, P., Taoutaou, Z., Mercier, J., Dubouchaud, H., and Prefaut, C. (1996). Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. Medicine & Science in Sports & Exercise, 28(4) :450–456 (abstract).
- Astrand, P. O., Hultman, E., Juhlin-Dannfelt, A., and Reynolds, G. (1986). Disposal of lactate during and after strenuous exercise in humans. Journal of Applied Physiology, 61(1) :338–343.
- Babault, N., Cometti, C., Maffiuletti, N. A., and Deley, G. (2011). Does electrical stimulation enhance post-exercise performance recovery? European Journal of Applied Physiology, 111(10) :2501–2507.
- Bieuzen, F., Borne, R., Toussaint, J.-F., and Hausswirth, C. (2014). Positive effect of specific low-frequency electrical stimulation during short-term recovery on subsequent high-intensity exercise. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 39(2) :202–210.
- Bieuzen, F., Pournot, H., Roulland, R., and Hausswirth, C. (2012). Recovery After High-Intensity Intermittent Exercise in Elite Soccer Players Using VEINOPLUS Sport Technology for Blood-Flow Stimulation. Journal of Athletic Training, 47(5) :498–506.
- Bishop, P. A., Jones, E., and Woods, A. K. (2008). Recovery From Training : A Brief Review : Brief Review. Journal of Strength and Conditioning Research, 22(3) :1015–1024.
- Bonaventura, J. M., Sharpe, K., Knight, E., Fuller, K. L., Tanner, R. K., and Gore, C. J. (2015). Reliability and accuracy of six hand-held blood lactate analysers. Journal of sports science & medicine, 14(1) :203. Publisher : Dept. of Sports Medicine, Medical Faculty of Uludag University.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. Medicine and Science in Sports and Exercise, 14(5) :377–381.
- Borne, R. (2016). Électrostimulation neuromusculaire et récupération à court terme : implications dans la performance du sportif de haut niveau. These de doctorat, Université Côte d’Azur (ComUE).
- Bosco, C., Luhtanen, P., and Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 50(2) :273–282.
- Bringard, A., Denis, R., Belluye, N., and Perrey, S. (2007). Compression élastique externe et fonction musculaire chez l’homme. Science & Sports, 22(1) :3–13.
- Cazorla, G. and Leger, L. (2004). Les filières énergétiques : quoi de neuf?
- Choi, D., Cole, K. J., Goodpaster, B. H., Fink, W. J., and Costill, D. L. (1994). Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. Medicine and Science in Sports and Exercise, 26(8) :992–996 (abstract).
- Coquart, J. B. J., Garcin, M., Grosbois, J. M., Wibaux, F., Dubart, A. E., and Lemaire, C. (2011). Estimation de la consommation pic d’oxygène par la perception de l’effort chez des patients obèses et diabétiques de type 2. Obésité, 6(2) :98–104.

- Cortis, C., Tessitore, A., D'Artibale, E., Meeusen, R., and Capranica, L. (2010). Effects of Post-Exercise Recovery Interventions on Physiological, Psychological, and Performance Parameters. International Journal of Sports Medicine, 31(05) :327–335.
- Cywinski, J. (2012). Electro-stimulation device to pump blood from legs.
- Delfour-Peyrethon, R. (2014). Effets de l'acidose métabolique mis en exergue par une alcalose induite sur la performance et les réponses physiologiques, cellulaires et moléculaires du muscle strié squelettique au cours d'exercices de haute-intensité. These de doctorat, Nantes.
- Fairchild, T. J., Armstrong, A. A., Rao, A., Liu, H., Lawrence, S., and Fournier, P. A. (2003). Glycogen Synthesis in Muscle Fibers during Active Recovery from Intense Exercise :. Medicine & Science in Sports & Exercise, 35(4) :595–602.
- García, G. C. and Secchi, J. D. (2013). Relación de las velocidades finales alcanzadas entre el Course Navette de 20 metros y el test de VAM-EVAL. Una propuesta para predecir la velocidad aeróbica máxima. Apunts. Medicina de l'Esport, 48(177) :27–34.
- Girard, O. and Millet, G. P. (2008). Neuromuscular Fatigue in Racquet Sports. Neurologic Clinics, 26(1) :181–194.
- Harris, R. C., Edwards, R. H. T., Hultman, E., Nordesjö, L. O., Ny Lind, B., and Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. Pflügers Archiv European Journal of Physiology, 367(2) :137–142.
- Hauswirth, C. (2013). Améliorer sa récupération en sport. INSEP-Publications, Paris. Book Title : Améliorer sa récupération en sport.
- Heyman, E., De Geus, B., Mertens, I., and Meeusen, R. (2009). Effects of Four Recovery Methods on Repeated Maximal Rock Climbing Performance. Medicine & Science in Sports & Exercise, 41(6) :1303–1310.
- Hiilloskorpi, H. K., Pasanen, M. E., Fogelholm, M. G., Laukkanen, R. M., and Mänttari, A. T. (2003). Use of Heart Rate to Predict Energy Expenditure from Low to High Activity Levels. International Journal of Sports Medicine, 24(5) :332–336. Publisher : © Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York.
- Huang, H., Chatchawan, U., Eungpinichpong, W., and Hunsawong, T. (2019). Progressive decrease in leg-power performance during a fatiguing badminton field test. Journal of Physical Therapy Science, 31(10) :765–770.
- Jentjens, R. and Jeukendrup, A. E. (2003). Determinants of Post-Exercise Glycogen Synthesis During Short-Term Recovery :. Sports Medicine, 33(2) :117–144.
- Johnson, D. L. and Bahamonde, R. (1996). Power Output Estimate in University Athletes. The Journal of Strength and Conditioning Research, 10(3) :161.
- Judelson, D. A., Maresh, C. M., Farrell, M. J., Yamamoto, L. M., Armstrong, L. E., Kraemer, W. J., Volek, J. S., Spiering, B. A., Casa, D. J., and Anderson, J. M. (2007). Effect of hydration state on strength, power, and resistance exercise performance. Medicine and science in sports and exercise, 39(10) :1817–1824.
- Jørgensen, U. and Winge, S. (1990). Injuries in badminton. Sports Medicine (Auckland, N.Z.), 10(1) :59–64.
- Kellmann, M. (2010). Preventing overtraining in athletes in high-intensity sports and stress/recovery monitoring. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 20 :95–102. Publisher : Wiley Online Library.

- Kellmann, M., Bertollo, M., Bosquet, L., Brink, M., Coutts, A. J., Duffield, R., Erlacher, D., Halson, S. L., Hecksteden, A., Heidari, J., Kallus, K. W., Meeusen, R., Mujika, I., Robazza, C., Skorski, S., Venter, R., and Beckmann, J. (2018). Recovery and Performance in Sport : Consensus Statement. International Journal of Sports Physiology and Performance, 13(2) :240–245.
- Lamb, G. D. and Stephenson, D. G. (2006). Point : Counterpoint : Lactic acid accumulation is an advantage/disadvantage during muscle activity. Journal of Applied Physiology, 100(4) :1410–1412. Publisher : American Physiological Society.
- Lattier, G., Millet, G. Y., Martin, A., and Martin, V. (2004). Fatigue and Recovery After High-Intensity Exercise Part II : Recovery Interventions. International Journal of Sports Medicine, 25(7) :509–515.
- Leger, L. and Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test : the Université de Montréal Track Test. Canadian journal of applied sport sciences. Journal canadien des sciences appliquées au sport, 5 :77–84.
- Léger, L. and Gadoury, C. (1989). Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO₂max in adults. Canadian Journal of Sport Sciences = Journal Canadien Des Sciences Du Sport, 14(1) :21–26.
- Léger, L. A., Mercier, D., Gadoury, C., and Lambert, J. (1988). The multistage 20 metre shuttle run test for aerobic fitness. Journal of Sports Sciences, 6(2) :93–101.
- Malone, J. K., Blake, C., and Caulfield, B. M. (2014). Neuromuscular electrical stimulation during recovery from exercise : a systematic review. Journal of Strength and Conditioning Research, 28(9) :2478–2506.
- Malone, J. K., Coughlan, G. F., Crowe, L., Gissane, G. C., and Caulfield, B. (2012). The physiological effects of low-intensity neuromuscular electrical stimulation (NMES) on short-term recovery from supra-maximal exercise bouts in male triathletes. European Journal of Applied Physiology, 112(7) :2421–2432.
- Manrique, D. C. and González-Badillo, J. J. (2003). Analysis of the characteristics of competitive badminton. British Journal of Sports Medicine, 37(1) :62–66. Publisher : British Association of Sport and Exercise Medicine Section : Original article.
- Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I., and Cardinale, M. (2004). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. Journal of Strength and Conditioning Research, 18(3) :551–555.
- McAinch, A. J., Febbraio, M. A., Parkin, J. M., Zhao, S., Tangalakis, K., Stojanovska, L., and Carey, M. F. (2004). Effect of active versus passive recovery on metabolism and performance during subsequent exercise. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism, 14(2) :185–196. Publisher : Human Kinetics, Inc.
- Mitchell, J. B., Cole, K. J., Grandjean, P. W., and Sobczak, R. J. (1992). The Effect of a Carbohydrate Beverage on Tennis Performance and Fluid Balance During Prolonged Tennis Play :. Journal of Strength and Conditioning Research, 6(3) :174–180.
- Nazmi, N., Abdul Rahman, M., Yamamoto, S.-I., Ahmad, S., Zamzuri, H., and Mazlan, S. (2016). A Review of Classification Techniques of EMG Signals during Isotonic and Isometric Contractions. Sensors, 16(8) :1304.
- O'Donoghue, P., Girard, O., and Reid, M. (2013). RACKET SPORTS. In Routledge Handbook of Sports Performance Analysis. Routledge, routledge edition. Num Pages : 11.
- Phomsoupha, M. (2016). Déterminants biomécanique, physiologique et modélisation physique de la performance en badminton. These de doctorat, Université Paris-Saclay (ComUE).

- Phomsoupha, M., Berger, Q., and Laffaye, G. (2018). Multiple Repeated Sprint Ability Test for Badminton Players Involving Four Changes of Direction : Validity and Reliability (Part 1). Journal of Strength and Conditioning Research, 32(2) :423–431.
- Phomsoupha, M. and Laffaye, G. (2020). Injuries in badminton : A review. Science & Sports, 35(4) :189–199.
- Poortmans, J. R. and Boisseau, N. (2012). Biochimie des activités physiques et sportives. Sciences et pratiques du sport. De Boeck, Bruxelles, 2e éd. edition.
- Ratel, S., Bedu, M., Hennegrave, A., Dore, E., and Duche, P. (2002). Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. International journal of sports medicine, 23(06) :397–402. Publisher : \copyright Georg Thieme Verlag Stuttgart· New York.
- Richmond, L., Dawson, B., Hillman, D. R., and Eastwood, P. R. (2004). The effect of interstate travel on sleep patterns of elite Australian Rules footballers. Journal of Science and Medicine in Sport, 7(2) :186–196. Publisher : Elsevier.
- Sairyo, K., Iwanaga, K., Yoshida, N., Mishiro, T., Terai, T., Sasa, T., and Ikata, T. (2003). Effects of Active Recovery Under a Decreasing Work Load Following Intense Muscular Exercise on Intramuscular Energy Metabolism. International Journal of Sports Medicine, 24(3) :179–182.
- Sapega, A. A. and Drillings, G. (1983). The definition and assessment of muscular power. The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy, 5(1) :7–9.
- Skinner, J. S., Hutsler, R., Bergsteinová, V., and Buskirk, E. R. (1973). The validity and reliability of a rating scale of perceived exertion. Medicine and Science in Sports, 5(2) :94–96.
- Spierer, D. K., Goldsmith, R., Baran, D. A., Hryniewicz, K., and Katz, S. D. (2004). Effects of active vs. passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. International journal of sports medicine, 25(02) :109–114. Publisher : \copyright Georg Thieme Verlag Stuttgart· New York.
- Stickland, M. K., Petersen, S. R., and Bouffard, M. (2003). Prediction of Maximal Aerobic Power From the 20-m Multi-stage Shuttle Run Test. Canadian Journal of Applied Physiology, 28(2) :272–282.
- Swain, D. P. and Leutholtz, B. C. (1997). Heart rate reserve is equivalent to %VO₂ reserve, not to %VO₂max. Medicine and Science in Sports and Exercise, 29(3) :410–414.
- Tessitore, A., Meeusen, R., Cortis, C., and Capranica, L. (2007). Effects of Different Recovery Interventions on Anaerobic Performances Following Preseason Soccer Training. The Journal of Strength and Conditioning Research, 21(3) :745.
- Warren, C. D., Brown, L. E., Landers, M. R., and Stahura, K. A. (2011). Effect of Three Different Between-Inning Recovery Methods on Baseball Pitching Performance. Journal of Strength and Conditioning Research, 25(3) :683–688.
- Warren, J. M., Ekelund, U., Besson, H., Mezzani, A., Geladas, N., and Vanhees, L. (2010). Assessment of physical activity – a review of methodologies with reference to epidemiological research : a report of the exercise physiology section of the European Association of Cardiovascular Prevention and Rehabilitation. European journal of cardiovascular prevention and rehabilitation, 17(2) :127–139.
- Westcott, W., Chen, T., Neric, F., Dinubile, N., Bowirrat, A., Madigan, M., Downs, B., Giordano, J., Morse, S., Chen, A., Bajaj, A., Kerner, M., Braverman, E., Reinl, G., Blakemore, M., Whitehead, S., Sacks, L., and Blum, K. (2011). The Marc Pro™ device improves muscle performance and recovery from concentric and eccentric exercise induced muscle fatigue in humans : A pilot study. Journal of Exercise Physiology Online, 14 :55–67.

Wilmore, J., Costill, D., and Kenney, L. (2017). Physiologie du sport et de l'exercice. DE BOECK SUP, Louvain-la-Neuve, 6e édition edition.

Yoshida, T., Watari, H., and Tagawa, K. (1996). Effects of Active and Passive Recoveries on Splitting of the Inorganic Phosphate Peak Determined by ^{31}P -Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. NMR in Biomedicine, 9(1) :13–19.

Annexes

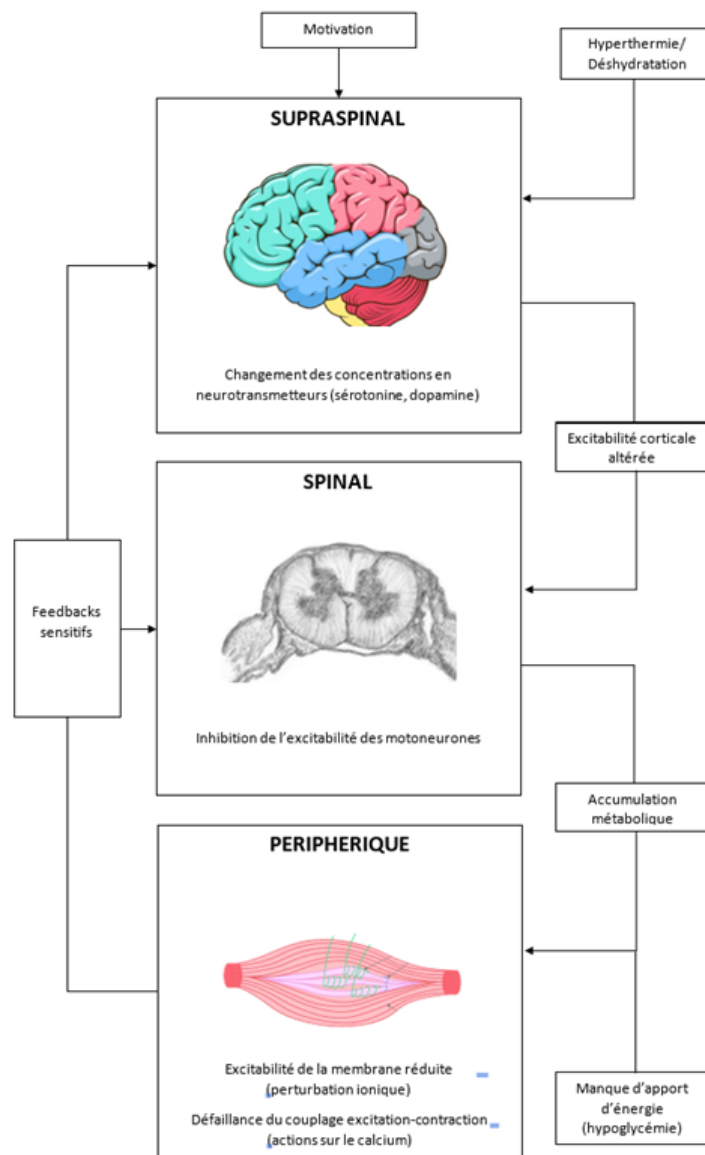


FIGURE 7 – Schéma bilan de l'étiologie de la fatigue en sport de raquette

Ce schéma, tiré de l'article de [Girard and Millet \(2008\)](#), représente les causes de la fatigue en sports de raquette, expliquées dans le Tableau 1. Il a été traduit et simplifié pour servir nos propos.

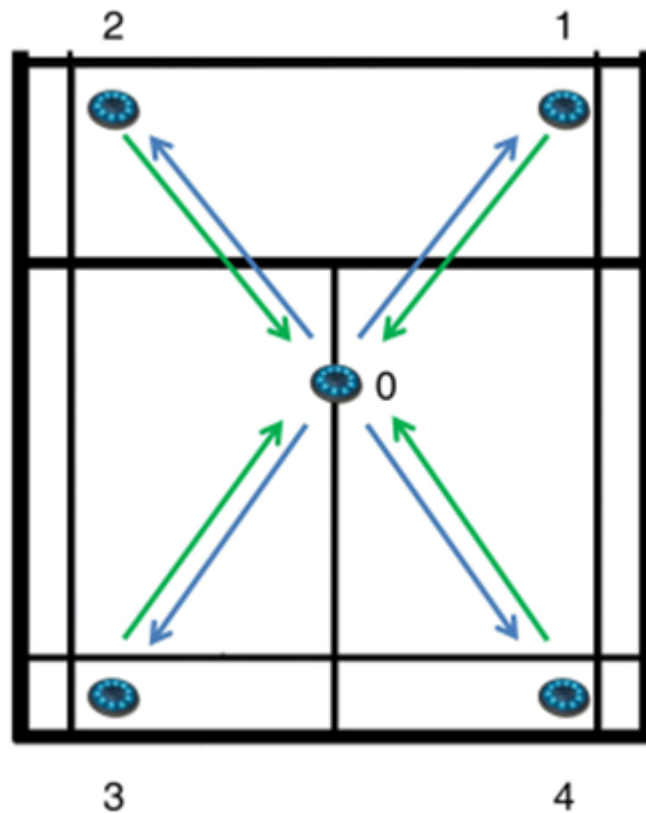


FIGURE 8 – Schéma des déplacements au cours du MRSAB

Cette représentation du test MRSAB est tirée de [Phomsoupha \(2016\)](#). Les déplacements figurent en bleu et les replacements en vert, avec un ordre défini de 1 à 4. Ce test consiste à réaliser dix répétitions de mouvements spécifiques au badminton, avec 30 secondes de séparation entre chaque répétition. Sur un demi-terrain de badminton, 5 diodes électroluminescentes (LED) sont placées : une au centre du terrain, et quatre autres positionnées aux quatre coins, à 3 mètres d'écart de celle du milieu. Le sujet doit se déplacer vers la LED qui s'allume, effectuant ainsi des déplacements dans les 4 directions avec des changements de trajectoire de 90 degrés en se replaçant vers le centre du terrain.

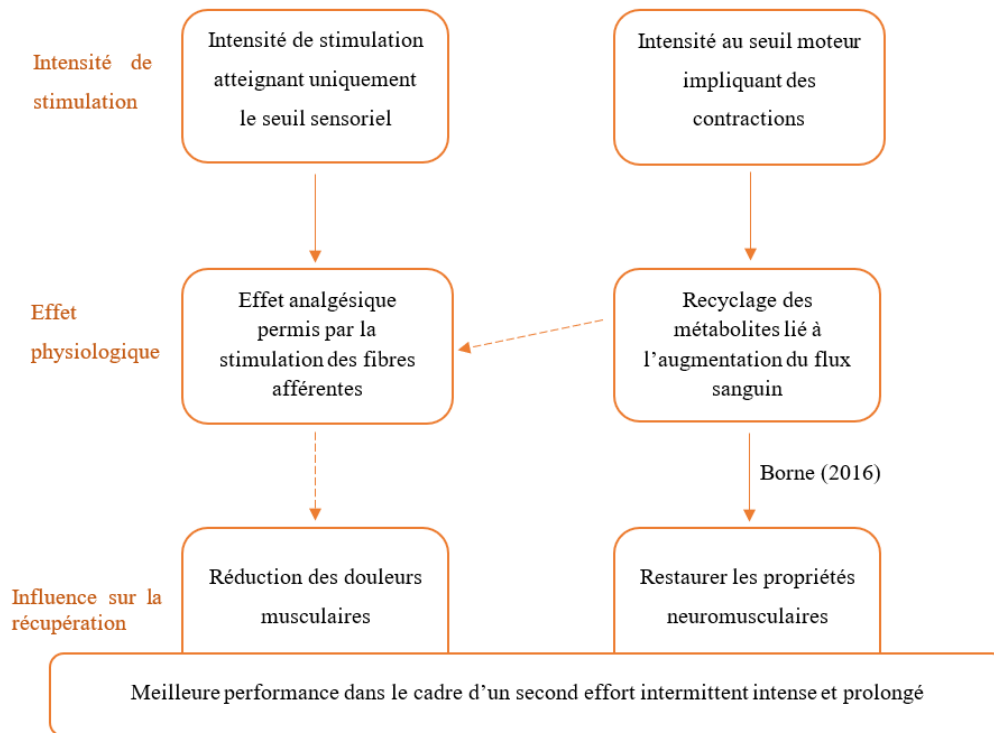


FIGURE 9 – Schéma des effets de l’intensité de l’électrostimulation sur la récupération post-exercice

Ce schéma est tiré de [Babault et al. \(2011\)](#). Les flèches pleines représentent une influence significative tandis que les tirets concernent une influence hypothétique. Le schéma a été traduit et simplifié afin de servir nos propos. Nous avons notamment catégorisé les cinq modes d’électrostimulation en fonction du seuil d’intensité atteint et utilisé les travaux de [Borne \(2016\)](#) pour confirmer l’influence de l’augmentation du flux sanguin sur la restauration des propriétés neuromusculaires. Les stimulations électriques dont l’intensité atteignent le seuil moteur correspondent à l’électrostimulation neuromusculaire (ESNM). Parmi les formes de stimulation exposées par [Babault et al. \(2011\)](#), seule l’électrostimulation à basse fréquence induit des contractions musculaires et correspond à l’ESNM.

AMÉLIORER LA RÉCUPÉRATION ENTRE DEUX TESTS SPÉCIFIQUES AU BADMINTON : COMPARAISON DES EFFETS DE L'ÉLECTROSTIMULATION NEUROMUSCULAIRE ET D'UNE MODALITÉ ACTIVE

Mémoire de recherche 1^{ère} année Magistère ENS Rennes

Qui ?
Badistes de niveau départemental (classé D9, D8 ou D7)

Quand ?
Dès que possible pour :
2 tests à au moins 1 semaine d'intervalle
1) ≈ 20 minutes
2) ≈ 50 minutes

Où ?
Au gymnase de la Harpe, un mardi soir pour le 1^{er} test

On a besoin de vous !!

1

2

Pour quoi faire ?
2 tests :

Test navette

Echauffement 10 min

Test MRSAB (sorte de shadow) 10 min

Récupération passive ou Récupération électrostimulation ou Récupération active 20 min

Test MRSAB (sorte de shadow) 10 min

Qu'est-ce qui est mesuré ?

- Fréquence cardiaque
- Lactatémie
- Perception de la fatigue
- Puissance des membres inférieurs

ENS rennes

Pour toute information, contactez nous !
Lou-Anne Leturque & Blanchet Clément
07 77 36 53 06
lou-anne.leturque@ens-rennes.fr

FIGURE 10 – Affiche partagée pour le recrutement des sujets

Lettre d'information

Mesures physiologiques dans le cadre de travaux pratiques menés au département Sciences du sport et éducation physique de l'École normale supérieure de Rennes

École normale supérieure (ENS) de Rennes. Département Sciences du sport et éducation physique. Campus de Ker Lann - Avenue Robert Schuman - 35170 BRUZ. Responsable du département : Pr. Jean Nicolas Renaud. 📞 : 02.99.05.52.70. Responsable pédagogique : Alexis Le Faucheur. 📞 : 02.99.05.94.19. Email : alexis.lefaucheur@ens-rennes.fr

Madame, Mademoiselle, Monsieur,

Nous vous proposons de participer, comme volontaire sain, à des mesures visant à comparer les réponses physiologiques à la réalisation d'un test spécifique au badminton selon différentes modalités de récupération. Nous souhaitons étudier l'efficacité d'une récupération utilisant l'électrostimulation sur la performance au cours d'un test spécifique au badminton, à travers des mesures physiologiques de la fatigue, et en comparaison avec des stratégies de récupération traditionnelles en course légère ou en position assise.

Les deux étapes de notre projet de recherche sont les suivantes :

Étape 1 : Il s'agit dans un premier temps de réaliser sur piste un test maximal à charge croissante (Léger Boucher, 1970) afin de déterminer la vitesse maximale aérobie (VMA) et la fréquence cardiaque maximale de nos participants, équipés d'un cardiofréquencemètre durant ce test.

Étape 2 : Au moins deux jours plus tard, nous comparerons trois modalités de récupération entre deux tests d'effort spécifiques au badminton consistant à la répétition de *shadows* séparés par de courts temps de repos. Les participants seront répartis aléatoirement dans les groupes suivants : stimulation électrique indolore des muscles du mollets, récupération passive en position assise, récupération active en footing léger. Ainsi, au cours de l'étape 2, les participants réaliseront les deux tests d'effort spécifiques au badminton, entrecoupés de vingt minutes de récupération dans l'une des trois modalités et après un échauffement standardisé. Nous réaliserons des mesures physiologiques à partir d'un cardiofréquencemètre, d'un tapis de Bosco pour la puissance des membres inférieurs à partir d'un saut vertical, d'un analyseur de lactate (nécessitant le prélèvement d'une goutte de sang au niveau du doigt) et d'une échelle de l'effort perçu.

Nous réaliserons nos mesures dans le cadre de travaux pratiques en première année de magistère. Il n'y a pas de bénéfice direct attendu pour le volontaire participant à ces mesures, il s'agit d'un travail pédagogique.

Le directeur du département et le responsable pédagogique de ces mesures se tiennent à votre disposition si vous avez des questions.

Nous vous remercions de l'attention que vous porterez à cette lettre.

Signature :

FIGURE 11 – Lettre d'information fournie aux participants

Formulaire de consentement éclairé

Participation à des mesures dans le cadre de travaux pratiques menés au département Sciences du sport et éducation physique de l'École normale supérieure de Rennes

École normale supérieure (ENS) de Rennes. Département Sciences du sport et éducation physique. Campus de Ker Lann - Avenue Robert Schuman - 35170 BRUZ. Responsable du département : Pr. Jacques Prioux. ☎ : 02.99.05.52.70. Responsable pédagogique : Alexis Le Faucheur. ☎ : 02.99.05.94.19. Email : alexis.lefaucheur@ens-rennes.fr

Je soussigné, Nom : Prénom :

né(e) le à (département :),

et domicilié à

.....
accepte librement et volontairement de participer à ces mesures physiologiques réalisées dans le cadre de travaux pratiques au sein de l'ENS Rennes. J'ai compris les mesures qui seraient réalisées et on a répondu à toutes mes questions concernant ces mesures.

Je peux à tout moment décider de stopper ma participation sans motiver ma décision. J'ai compris que les données collectées à l'occasion de ces mesures seront protégées dans le respect de la confidentialité. Elles pourront uniquement être consultées par les seuls élèves et enseignants impliqués dans ces mesures.

J'accepte le traitement informatisé des données à caractère personnel me concernant dans les conditions prévues par la loi Informatique et liberté. Je suis informé(e) de mon droit d'accès et de rectification des données me concernant.

Je certifie être affilié(e) au régime de la Sécurité Sociale.

Le participant :

Nom :

Prénom :

Date :

Signature précédée de la mention "lu et approuvé" :

Le responsable pédagogique :

Nom :

Prénom :

Date :

Signature précédée de la mention "lu et approuvé" :

Fait en 2 exemplaires originaux, datés et signés : un exemplaire conservé par le participant et un exemplaire conservé par la structure.

FIGURE 12 – Formulaire de consentement éclairé

Protocole d'échauffement en Badminton

*1 cycle de 11 exercices musculaires et cardiovasculaires préparant le corps à la pratique intensive du Badminton.
Il est idéal de répéter le cycle une deuxième fois de manière plus dynamique/rapide.*

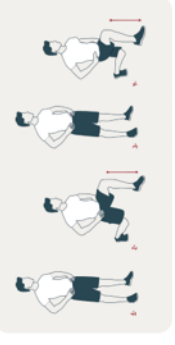
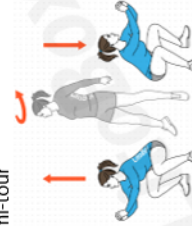
<p>Exercice 1 Flexions plantaires et dorsale de cheville</p> <p><u>Consignes</u> : Se déplacer de gauche à droite toute en levant les pointes de pieds puis levant les talons. X12reps</p> 	<p>Exercice 2 Squats</p> <p><u>Consignes</u> : Descendre et monter de manière contrôlée. X12reps</p> 	<p>Exercice 3 Fentes avant</p> <p><u>Consignes</u> : Effectuez une fente pied gauche puis pied droit. X12reps</p> 	<p>Exercice 4 Mouvements circulaires de bras</p> <p><u>Consignes</u> : Effectuez un mouvement circulaire vers l'avant avec le bras gauche et vers l'arrière avec le bras droit. X30sec</p> 	<p>Exercice 5 La planche dynamique</p> <p><u>Consignes</u> : Effectuez des mouvements de pied gauche/droite en planche. X15reps</p> 	<p>Exercice 6 Dorsaux</p> <p><u>Consignes</u> : Levez le haut du corps sur le ventre. X15reps</p> 	<p>Exercice 7 Jumping Jack</p> <p><u>Consignes</u> : X30 reps</p> 	<p>Exercice 8 Saut unipodal</p> <p><u>Consignes</u> : Effectuez des sauts latéraux sur un pied X15 reps par pied</p>	<p>Exercice 9 Saut Ecart/Serré</p> <p><u>Consignes</u> : Effectuez un saut pieds écartés + un saut pieds serrés en avançant. X20reps</p>	<p>Exercice 10 Montain Climbers</p> <p><u>Consignes</u> : Effectuez des montées de genoux en planche. X20reps</p> 	<p>Exercice 11 Squat demi-tour</p> <p><u>Consignes</u> : Effectuez un demi-tour lorsque vous sautez en phase de montée. X10reps</p> 
--	--	---	--	--	---	--	--	--	--	---

FIGURE 13 – Echauffement standardisé proposé à nos badistes

Cet échauffement correspond à celui réalisé habituellement au club de Vezin-le-Coquet au début de chaque entraînement.

Table des matières

Liste des abréviations	2
Table des illustrations	3
1 Introduction et cadrage théorique	4
1.1 Dimensions de la performance en badminton et fatigue	4
1.1.1 La performance en badminton : effort, sollicitation et blessures	4
1.1.2 Apparition de la fatigue au cours d'un match de badminton	4
1.2 Processus physiologiques visés lors de la récupération intermédiaire en badminton	6
1.3 L'électrostimulation neuromusculaire, une stratégie pour atténuer la fatigue en badminton ?	8
1.3.1 Des controverses sur l'efficacité en termes de récupération intermédiaire lors d'exercices à haute intensité et répétés à court terme	9
1.3.2 Récupération active et stimulation électrique en vue d'augmenter le flux sanguin	10
1.4 Objectif et hypothèses	11
2 Matériels et méthodes	12
2.1 Conception de l'étude / study design	12
2.2 Population	12
2.3 Déroulement général	12
2.4 Méthodes	14
2.4.1 Test navette : VMA et mesure indirecte du $\dot{V}O_{2max}$	14
2.4.2 Modalités de récupération	15
2.4.3 Performance via le MRSAB	15
2.5 Matériel	17
2.5.1 Paramètres anthropométriques	17
2.5.2 Lactate sanguin	17
2.5.3 Fréquence cardiaque	18
2.5.4 Puissance musculaire des membres inférieurs	18
2.5.5 Perception de l'effort	18
2.5.6 Stimulation électrique	19
2.5.7 Analyse des données	20
2.5.8 Analyse statistique	20
3 Résultats	21
3.1 Population	21
3.2 Performance temporelle aux MRSAB	22
3.3 Objectifs secondaires	23

4	Discussion	25
4.1	Performance temporelle aux MRSAB	25
4.2	Lactatémie	26
4.3	Perception de l'effort	27
4.4	Puissance	27
4.5	Pourcentage de fréquence cardiaque maximale	27
4.6	Limites du travail	28
5	Perspectives	29
6	Conclusion	30

Récupération inter-matches en badminton : comparaison des effets de l'électrostimulation neuromusculaire et d'une modalité de récupération active

Résumé

Contexte : La fatigue en sports de raquette est principalement expliquée par une accumulation de métabolites et une diminution des substrats énergétiques (Girard and Millet, 2008). Néanmoins, le temps séparant deux matches de badminton en compétition ne permet pas une récupération complète de ces facteurs. La réplétion glycogénique et le recyclage du lactate, favorisés par une augmentation du flux sanguin (Borne, 2016), nous apparaissent alors être les facteurs clés de la performance sur le deuxième match. D'autre part, l'électrostimulation des triceps suraux à une intensité supérieure au seuil moteur entraîne une contraction favorisant le retour veineux (Bringard et al., 2007), et l'augmentation du flux sanguin systémique (Bieuzen et al., 2012). Cependant, son effet sur la performance est controversé. Si Malone et al. (2014) décrivent une absence d'effet, Borne (2016) observe un effet positif pour des exercices intermittents proches du badminton. L'objectif est alors de tester l'effet de l'électrostimulation neuromusculaire sur la récupération inter-matches simulés.

Méthodes : 18 badistes de niveau départemental ont réalisé deux tests spécifiques au badminton entrecoupés de 15 minutes de récupération. Nous avons réparti aléatoirement les participants dans les groupes récupération active (40% VMA obtenue grâce à un test d'effort maximal), récupération par électrostimulation des triceps suraux avec un appareil VEINOPLUS ou récupération passive en position assise.

Résultats : Une ANOVA une voie a révélé qu'il n'y avait pas de différence significative dans la variation de performance temporelle entre les deux tests spécifiques pour les trois modalités de récupération ($F(2,17)=0,303$, $p=0,743$).

Discussion et conclusion : Nos résultats présentent un effet limité de l'ESNM sur la récupération. Ainsi, l'effet des stratégies de récupération semble être trop faible pour être mesuré, en comparaison à d'autres facteurs plus explicatifs (Cortis et al., 2010) et/ou du fait du faible effectif de notre échantillon.

Mots-clés : MRSAB, Lactatémie, Puissance, RPE, FC.

Abstract

Context: Fatigue in racquet sports is mainly explained by an accumulation of metabolites and a decrease in energy substrates (Girard and Millet, 2008). Nevertheless, the time between two competitive badminton matches does not allow for a complete recovery of these factors. Glycogen replenishment and lactate recycling appear to us to be the most decisive factors of performance in the second match, and are favored by an increase in blood flow (Borne, 2016). Furthermore, electrostimulation of the calf muscle at an above-motor-threshold intensity leads to a contraction that eases venous return (Bringard et al., 2007) and increases the systemic blood flow (Bieuzen et al., 2012). However, its effect on performance is controversial. While the review of Malone et al. (2014) describes an absence of effect, Borne (2016) observed a positive effect for intense exercises repeated in the short terms, exertion close to badminton. Thus, our objective is to test the effect of NMES on inter-simulated-game recovery.

Methods: 18 departmental-level badminton players performed two badminton-specific tests (MRSAB) interected with 15 minutes of recovery. We randomly assigned the participants to active recovery (40% MAS obtained through a maximal effort test), recovery by electrical stimulation of the calf muscle with a VEINOPLUS device or passive recovery in a seated position.

Results: A one-way ANOVA revealed that there was no significant difference in the variation in temporal performance between the two MRSABs for the three recovery modalities ($F(2,17) = 0.303$, $p = 0.743$).

Discussion and conclusion: Our results present a limited effect of the NMES on recovery. Thus, the effect of recovery strategies appears to be too small to be measured, compared to other more explanatory factors (Cortis et al., 2010) and/or due to the small size of our sample.

Key-words : MRSAB, Lactatemia, Power, RPE, HR