

INSTITUT DE FORMATION DE MASSO KINÉSITHÉRAPIE – RENNES

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE 2011



INTÉRÊT DE LA CRYOTHÉRAPIE DANS LE RÉCUPÉRATION DE LA FONCTION MUSCULAIRE.



Damien LE STRAT

Promotion 2008-2011

Selon le code de la propriété intellectuelle, toute reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur est illégale.

RÉSUMÉ

Le but de ce travail est d'étudier l'intérêt de la cryothérapie, un des mécanismes de l'immersion en eau froide, dans la récupération de la fonction musculaire. La littérature présente deux effets à cette cryothérapie, à savoir antalgique et anti-inflammatoire. La première partie du travail développe, au travers d'une revue de la littérature, la notion de performance génératrice de lésions musculaires. Puis elle présente l'intérêt d'une récupération dans le monde sportif, en abordant enfin différents modes de récupération.

Toujours en référence à la littérature scientifique, la seconde partie de ce travail développe l'intérêt de la cryothérapie dans la récupération de la fonction musculaire avant de présenter une expérience. Cette expérience cherche à montrer l'effet d'une cryothérapie sur la récupération d'une activité excentrique supra-maximale. Le moyen d'évaluation utilisé est la hauteur maximale d'un saut vertical atteint par les sujets de l'expérience. Les résultats confrontent le groupe test qui a reçu un traitement cryothérapeutique par vessie de glace durant 20 minutes, avec le groupe témoin. Ils montrent que le refroidissement de la cuisse, en récupération immédiate, n'influence pas la récupération des capacités de saut des sujets. Enfin les résultats sont confrontés avec d'autres expériences similaires présentes dans la littérature scientifique. La conclusion de ce travail montre l'absence de consensus dans les moyens et les utilisations de la cryothérapie, et l'avancée des moyens d'investigations apportant des éléments nouveaux. Des pistes de recherches restent à développer avant de conclure sur l'intérêt de la cryothérapie dans la récupération de la fonction musculaire.

Les références scientifiques ont été trouvées sur les ressources PEDro, PubMed, EM Consulte et dans les ouvrages du centre de documentation de l'IFPEK RENNES.

MOTS-CLÉS

Récupération musculaire, Cryothérapie, Performance, Courbature, Excentrique, Muscle.

Muscle recovery, Cryotherapy, Performance Delayed Onset Muscle Soreness, Eccentric, Muscle.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ, MOTS CLÉS	p. 2
I-INTRODUCTION	p. 4
LA PERFORMANCE SPORTIVE	p. 4
LE SURENTRAÎNEMENT	p. 7
LES CONSÉQUENCES PHYSIOLOGIQUES DE L'ACTIVITÉ MUSCULAIRE INTENSE	p. 8
PRÉSENTATION DE DIFFÉRENTS MODES DE RÉCUPÉRATION	p. 11
II-INTÉRÊT DE LA CRYOTHÉRAPIE	p. 18
ACTION ANTI-INFLAMMATOIRE	p. 18
QUELLES CRYOTHÉRAPIE UTILISER	p. 19
CONTRE-INDICATIONS ET PRÉCAUTION À LA CRYOTHÉRAPIE	p. 21
III-MÉTHODOLOGIE	p. 23
POPULATION	p. 23
MATÉRIELS	p. 23
PROTOCOLE	p. 23
IV-RÉSULTATS	p. 25
V-DISCUSSION	p. 28
CONCLUSION	p. 31
BIBLIOGRAPHIE	p. 32
ANNEXES	p. 35

I-INTRODUCTION

L'entraînement et la compétition sont deux éléments essentiels dans la vie du sportif de haut niveau. La compétition est l'aboutissement d'un entraînement rigoureux qui permet à l'athlète de valider ses performances et ainsi de maintenir son statut. L'entraînement correspond à, la recherche de la meilleure adaptation possible de l'organisme à un stress, pour améliorer la performance [30]. Toutefois s'ils sont trop répétés ils provoquent une diminution de la performance synonyme de fatigue neuromusculaire [6]. Les lésions musculaires, l'accumulation de métabolites, la sensibilisation de récepteurs nociceptifs, etc., sont autant de causes à la fatigue musculaire. La récupération de la fonction musculaire est donc primordiale pour des sportifs de haut-niveau pouvant s'entraîner jusqu'à deux fois par jour et accumulant les compétitions.

LA PERFORMANCE SPORTIVE:

La performance est un mot provenant de l'anglais « parformer » signifiant accomplir, exécuter. Lui-même provient de « performance » qui signifiait accomplissement dans le vieux français.

Dans le milieu sportif la performance est généralement exprimée par une valeur chiffrée (classement, distance, temps). Elle est le résultat d'un entraînement complexe. Tous les facteurs déterminants de la performance doivent être connus et intégrés dans le processus d'entraînement pour que la performance soit maximale.

Le scientifique allemand Jürgen WEINECK, professeur à l'Université d'Erlangen-Nuremberg, donne cette définition: *"La capacité de performance sportive représente le degré d'amélioration possible d'une certaine activité motrice sportive et, s'inscrivant dans un cadre complexe, elle est conditionnée par une pluralité de facteurs spécifiques"*. Cette capacité de performance [29] est donc le potentiel pour un athlète de réaliser une performance maximale, avec épuisement de toutes ses réserves, dans une activité sportive donnée. La possibilité qu'a un athlète de répéter une performance dépend de ses aptitudes à récupérer, de sa discipline sportive, de son entraînement et de son niveau d'expertise.

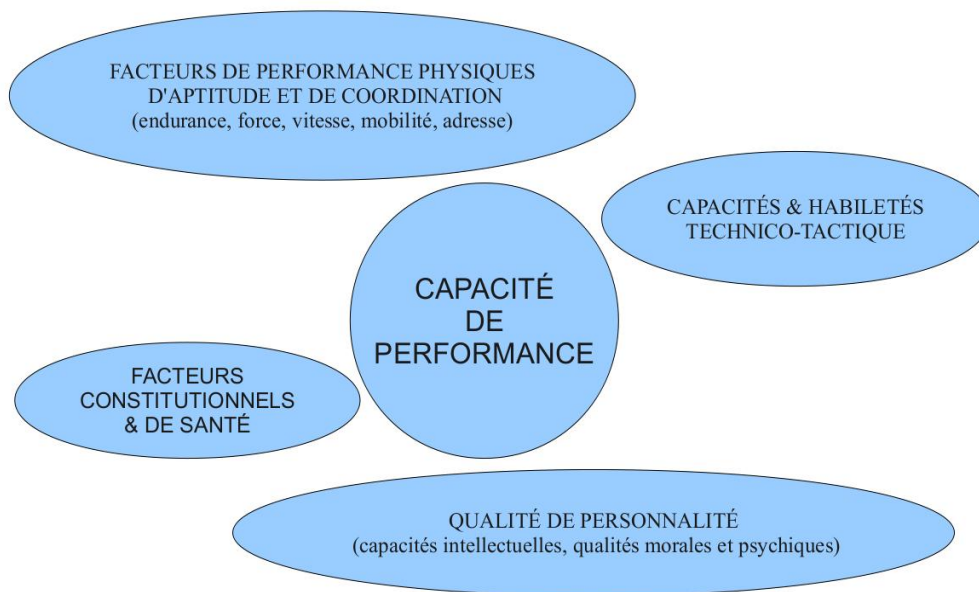


Figure 1: Facteurs de la capacité de performance sportive (WEINECK 1983, 15)

La figure 1 présente les facteurs influençant la performance selon J. WEINECK pourtant d'autres facteurs influencent ,en plus ou en moins, la performance. Ceux-ci peuvent être regroupés en plusieurs catégories. D'abord les facteurs relatifs à la technique acquis par l'entraînement. Puis les facteurs relatifs à la condition physique qui comprend la force, l'endurance, la souplesse et la vitesse. À cela s'ajoutent des facteurs comme les capacités psychiques de l'individu, ses capacités socio-professionnelles, ses capacités tactiques et cognitives et enfin ses facteurs constitutionnels et médicaux. Au cours de la préparation de l'athlète la kinésithérapie agit sur les facteurs physiques en prévention des blessures et accompagne les autres facteurs grâce à une collaboration avec les différents professionnels autour du sportif.

L'endurance joue un rôle important dans la plupart des sports. On la définit généralement comme la capacité à maintenir un effort malgré la fatigue. Il existe différents types d'endurance :

- Endurance de courte durée (de 45 secondes à 2 minutes), la production d'énergie est essentiellement assurée par la filière anaérobie.
- Endurance de moyenne durée (de 2 à 8 minutes), la filière aérobie participe davantage à la production d'énergie.
- Endurance de longue durée (efforts supérieurs à 8 minutes) la production d'énergie est presque exclusivement assurée par la filière aérobie.

Un autre facteur de la performance, accompagnant l'endurance est la force. Elle est la faculté de vaincre ou de supporter une résistance extérieure grâce à des tensions musculaires. Il existe

plusieurs régimes :

- Régime statique ou isométrique : sans modification de la longueur du muscle.
- Régime dynamique concentrique : raccourcissement du muscle.
- Régime dynamique excentrique : allongement du muscle.
- Régime dynamique pliométrique : succession une contraction excentrique puis concentrique.

La force est directement proportionnelle au nombre de ponts actine/myosine. Son niveau dépend de la façon dont les unités motrices (UM) sont mises en jeu. La force développée est proportionnelle au nombre de fibres recrutées, L'entraînement améliore le recrutement, c'est la sommation spatiale. La fréquence des impulsions nerveuses joue sur la force, elle passe de 5 à 6 potentiels d'action par seconde au repos, à 50 à 60 à l'effort maximal. Lors des exercices de faible intensité, le recrutement des fibres est anarchique. Quand l'intensité augmente, le recrutement des UM s'organise de plus en plus pour tendre vers une synchronisation maximale, c'est coordination intramusculaire. Il s'agit de la sommation temporelle (figure 2).

L'anatomie du muscle est présentée dans les annexes 1 et 2. la physiologie de la contraction musculaire, son couplage électromécanique ainsi que la contraction excentrique sont développées en annexes 3 et 4 [27, 29], [10].

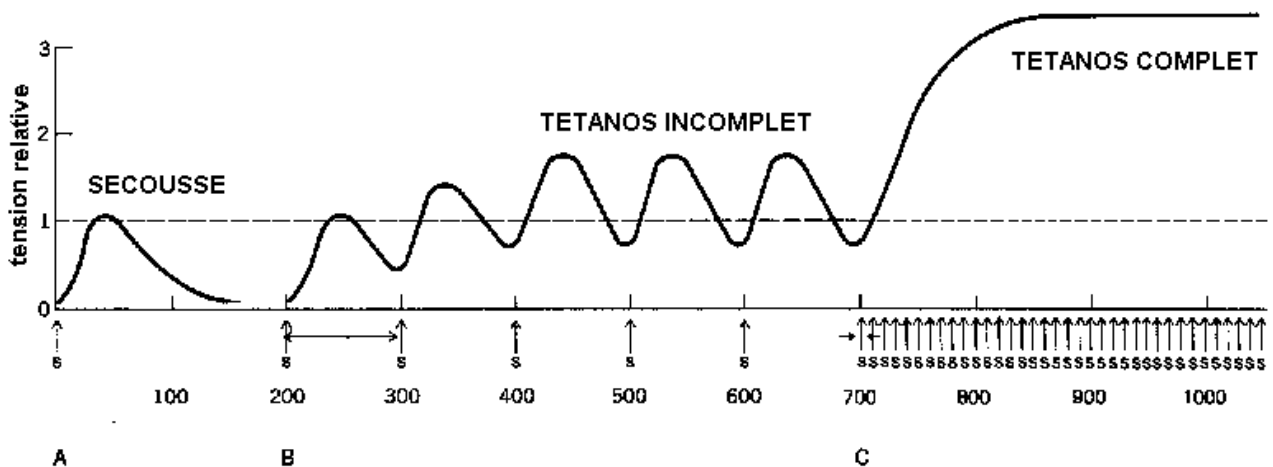


Figure 2: Illustration de la sommation temporelle. [31]

En A, une secousse unique. En B, un train de secousses séparées de 100 ms, dont l'impulsion se produit pendant la période de relaxation. En C, un train de secousses séparées de 1 ms seulement et dont l'impulsion se produit durant la période de contraction.

Mécaniquement, la vitesse est égale au rapport d'une distance sur un temps. Dans la performance sportive, la vitesse est une qualité majeure. On distingue 3 composantes de la vitesse :

- Temps de latence de la réaction motrice.
- Vitesse du mouvement unique.
- Fréquence du mouvement.

La vitesse du mouvement dépend du degré de coordination générale et spécifique de l'athlète.

Ainsi on peut définir la performance sportive comme une action motrice, dont les règles sont fixées par l'institution sportive, permettant au sujet d'exprimer ses potentialités physiques et mentales.

Dans un cadre kinésithérapique, on peut retenir que la performance est un résultat obtenu à une date donnée. Elle dépend de facteurs intrinsèques comme l'entraînement, l'état physique (la fatigue, l'alimentation), l'état mental (fatigue) et l'expérience. Et de facteurs extrinsèques tels que l'environnement (météo et lieu géographique), l'entourage (adversaire et proche).

La performance est donc soumise à de nombreuses variables. C'est pourquoi le sportif à la recherche de « performance » se doit de connaître le maximum de ces variables, pour pouvoir agir sur celles-ci dans le but d'améliorer.

Toutefois elle est partagée entre santé et excès. Isabelle QUEVAL [22] accuse la forte concurrence qui existe aujourd'hui dans le milieu sportif, une professionnalisation des athlètes est plus précoce, des enjeux financiers entourant les événements sportifs toujours plus importants soumettant les athlètes à des cadences infernales. Elle définit la situation des sportifs de haut niveau comme non-acquise. Il se doit de toujours être au meilleur de sa forme pour honorer les ambitions qui lui sont attribuées par les spectateurs, les entraîneurs, la famille, la fédération et les sponsors. Il s'ensuit des blessures, des pathologies chroniques, psychiques et psychologiques du fait d'une charge d'entraînement et de compétition trop importante ne laissant pas au sportif le temps de récupérer.

LE SURENTRAÎNEMENT:

Il arrive que dans sa préparation, un sportif voie ses performances diminuer. Pourtant la fréquence et la quantité de travail de ses entraînements n'ont pas diminué, et voire même ont augmenté. L'athlète n'est pourtant pas blessé mais présente quelques symptômes en plus de la baisse de ses performances, comme une perte d'appétit, de poids, des troubles du sommeil voire de l'humeur, et même une perte de la motivation à l'entraînement. On peut également observer une diminution des capacités de concentration, pouvant tendre à une dépression avec une appréciation déformée des événements.

Ces diminutions de performance sont dues à une diminution de force musculaire, de coordination et

de sa capacité maximale aérobie [8].

Celle-ci s'accompagne d'une augmentation de sa fréquence cardiaque à une activité donnée. Chez cet athlète son métabolisme est déséquilibré. Les processus cataboliques deviennent plus importants que les processus anaboliques. Le sujet présente alors une inflammation systémique associée à une importante augmentation des concentrations de cytokines due à une perturbation du fonctionnement de l'hypothalamus. Cela s'accompagne d'une dépression des capacités immunitaires du sujet entraîné, alors vulnérable aux infections.

Cette chute indiscutable des performances, que le repos et un régime hyperglucidique ne parviennent pas à corriger, est causée par le phénomène de surentrainement. Dans ce cas, même une récupération optimale ne permet pas au sportif de restaurer son homéostasie. Les symptômes du surentrainement dépendent de chaque individu. Même si le diagnostic est médical, nous devons y rester vigilant car s'il n'est pas pris en charge, il peut mener le sujet à la dépression. Pour prévenir ce surentrainement il faut savoir que le gain de performance n'est pas synonyme d'une charge d'entraînement élevée. Les entraînements doivent être adaptés à chacun des athlètes, ils comportent des phases d'entraînement à intensité variable. Un programme d'entraînement s'inscrit dans des cycles comportant forcément des phases de repos, nécessaires au sportif pour reconstituer ses stocks énergétiques et réparer les lésions anatomiques générées par l'entraînement.

La prise en charge du surentrainement est simple, elle consiste en une mise au repos partiel ou total. Dans le cadre d'un surentrainement passager, ou over-reaching [3], deux à trois jours de repos suffisent. Pour des cas plus graves des arrêts de quelques semaines à quelques mois sont parfois nécessaires s'accompagnant d'une prise en charge médicale et diététique.

LES CONSÉQUENCES PHYSIOLOGIQUES DE L'ACTIVITÉ MUSCULAIRE INTENSE:

L'activité physique, et particulièrement la contraction excentrique, est un générateur de stress mécanique pour le muscle. MIDDLETON et MONTERO [19] stipulent que quinze contractions excentriques, chez des sujet non entraînés, suffisent à produire des lésions de DOMS (Delayed Onset Muscle Soreness). Ces DOMS sont le symptôme d'une augmentation du taux de radicaux libre, des protéines de stress musculaire et des lésions musculaires.

La production de radicaux libres lors d'un exercice d'intensité élevée, due essentiellement à l'augmentation de la consommation en oxygène, est 10 fois supérieure à la production de radicaux libres de ce même organisme au repos [21].

Les effets délétères des radicaux libres obligent l'organisme à utiliser des systèmes de défenses. Un premier enzymatique permet de protéger, entre autres, les membranes lipidiques qui sont très réactives avec les radicaux libres. En plus de ces enzymes anti-oxydants, l'organisme dispose d'un

système non enzymatique appelé les anti-oxydants. Qualifiées « d'éboueurs » des radicaux libres cellulaires, ces substances sont capables de capter les radicaux libres et de limiter leurs effets délétères. Ces principales substances sont, les vitamines (C et E) et la bêta-carotène. Dans l'organisme, ces substances sont présentes dans les liquides intra et extra-cellulaire (Vit.C) mais également dans les membranes, comme par exemple la membrane interne des mitochondries, lieu de formation des radicaux libres (Vit.E). Toutefois une supplémentation en produit anti-oxydant n'a aucun effet avéré sur les sportifs pratiquant des exercices intensifs dont l'alimentation est équilibrée.

Au cours d'un exercice l'organisme humain produit des protéines dites de stress. On observe ainsi des augmentations de taux de protéines de stress dans les muscles, le cœur et le foie. On mesure des variations de ces protéines dans le muscle uniquement pour des exercices infra-maximaux, dans le cœur et le foie des variations de ces protéines sont mesurables chez des sujets ayant réalisé des exercices supra-maximaux exhaustifs. Cette augmentation est la conséquence d'une forte production d'ARNm qui demeure élevée pendant 4 à 6 heures après l'arrêt de l'exercice. La production d'ARNm peut être 6 fois supérieure à la valeur de repos. Notons que les taux de ces protéines sont fonction de l'état trophique des muscles. Donc un muscle hypertrophique produira plus de protéines de stress qu'un muscle atrophie.

Chez l'homme on peut observer des crampes, des douleurs, des gonflements après un exercice intense. Ces symptômes peuvent persister durant 2 à 3 semaines après l'exercice et sont majorés chez les sujet non entraînés (SJÖSTRÖM et FRIDÉN 1984; EVANS et CANNON 1991). Ces symptômes sont provoqués par des micro-traumatismes des fibres musculaires issus d'une sur-charge mécanique causée par un travail musculaire excentrique du muscle. Ces micro-lésions sont d'autant plus importantes que le muscle n'est pas habitué à cette sollicitation excentrique. Elles sont observables au microscope.

En 1980, FRIDÉN et coll. mettent en évidence les modifications de la structure musculaire par biopsie d'un muscle venant d'effectuer un exercice intensif. L'observation de cette biopsie au microscope électronique montre la rupture des bandes Z ainsi qu'un élargissement de fibres. Ils montrent également que ces modifications persistent pendant 7 jours. Les auteurs émettent l'hypothèse que les micro-lésions ont libéré dans le « sarcoplasme » des enzymes lysosomiales responsables d'un processus inflammatoire.

Plusieurs travaux dans les années 1980 montrent que les lésions musculaires provoquées par des contractions musculaires excentriques ou pliométriques, s'apparentent à une rhabdomyolyse. Certains d'entre eux présentent même, par leurs biopsies, une déplétion importante de glycogène et une rupture de myofibrilles dans les 3 heures qui suivent la fin de l'exercice de course.

Ces exercices modifient la structure fine des myofibrilles au niveau des bandes Z, elle apparaît comme désorganisée, élargie et irrégulière. En se basant sur ces observations et sur un modèle expérimental, FRIDÉN et coll. concluent à l'installation de la séquence des événements présentée par la figure 3.

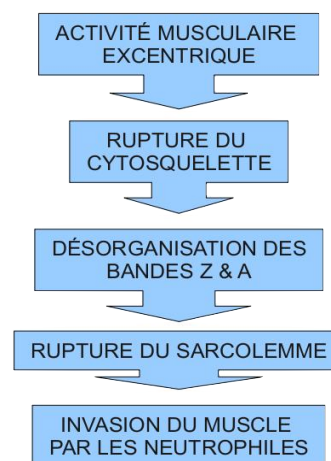


Figure 3 :
Installation de la désorganisation structurale selon FRIDÉN.

Certains des auteurs montrent que ces lésions sont fréquentes chez les sportifs de compétition. En 1990 on observe que les ruptures sont également possibles à la jonction musculo-tendineuse. Ces lésions musculaires provoquées par le stress mécanique de la contraction musculaire excentrique sont de réels traumatismes du muscle strié squelettique, comme présenté dans la classification des lésions musculaires selon RODINEAU et DUREY (annexe 5). En 1999 on établit cette phase lésionnelle se poursuit pendant une dizaine d'heures au cours de laquelle les macrophages, les monocytes et les neutrophiles s'infiltrent dans la lésion. Le processus inflammatoire s'installe, l'endolorissement apparaît alors, une sensation de gêne va durer 1 à 2 jours après l'arrêt de l'exercice. La réponse inflammatoire secondaire aux lésions musculaires dure 2 à 3 semaines.

Un effort physique produit dans l'organisme une perturbation de l'homéostasie, voire du comportement. On observe des réductions des réserves glycogéniques, seule source d'énergie pour le muscle. Il s'ajoute à cela des pertes d'eau et de minéraux, une accumulation des ions hydrogènes H⁺ altérant les fibres musculaires et conjonctives. Une augmentation du catabolisme conduisant à une dégradation des protéines musculaires est mesurable après une activité physique.[11]

La récupération est le processus qui permet de restaurer les perturbations générées par l'exercice aux niveaux physique (physiologiques, biochimiques et nerveux) et psychologique, et retrouver un état de bien-être. La diminution des réserves énergétiques dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice alors effectué. C'est pendant les phases de récupération que les réserves énergétiques sont reconstituées.

Ces processus de récupération peuvent prendre de quelques minutes (reconstitution des stocks en P-Cr en 5 min après un sprint de 30 sec) à quelques heures (24h de récupération pour récupérer les réserves de glycogène musculaire et 48h pour récupérer les réserves de glycogène hépatique, épuisées lors d'un match de football ou un marathon).

Les objectifs de la récupération sont alors de réduire l'acidose de l'organisme, de reconstituer les

réserves énergétiques, de pallier les pertes hydriques, d'apporter les éléments nécessaires à la reconstitution des tissus lésés, favoriser le retour des constantes à un niveau basal (retrouver l'homéostasie)[13].

Il est difficile pour l'organisme d'éliminer les substances sous formes acides. La réduction de cette acidose est importante puisqu'elle peut provoquer une diminution des capacités d'effort, une perturbation des capacités de coordination. Elle provoque également une altération des membranes cellulaires (fibres musculaires), une perturbation du système de fourniture d'énergie (voire de la phosphocréatine et de la lipogénèse). Pour ce faire il faut favoriser l'oxygénation des tissus (récupération active et électrostimulation), augmenter l'apport de bases (hydratation et alimentation), drainer les déchets du catabolisme (massage, chaleur, étirements, bas de contention).

Courbatures, douleurs musculaires et performance réalisées sont les marqueurs les plus fréquemment utilisés dans le milieu sportif pour juger du niveau de récupération. L'objectif pour le sportif est de retrouver ses moyens rapidement pour être performant.

L'optimisation de la récupération, passant par l'association de différents moyens, permet également d'augmenter les charges d'entraînement, et/ou de minimiser les risques du sur-entraînement et de blessures.

L'enchaînement des matchs, compétitions et l'accumulation des entraînements nécessitent une optimisation des temps de récupération. Pour ce faire il existe différentes techniques de récupération. (sont elles efficaces?)

LES DIFFÉRENTS MODES DE RÉCUPÉRATION:

RATION DE RÉCUPÉRATION:

L'un des premiers moyens de récupération passe par la « ration de récupération ». Il s'agit de l'ensemble des modalités diététiques mise en œuvre de façon à restaurer l'équilibre physiologique perturbé par l'activité physique [24].

La ration alimentaire vise à combattre et à compenser la fatigue née au cours de l'activité physique. Elle peut aider à restaurer l'équilibre de la physiologie musculaire, digestive mais également celle de la fonction cérébrale, dans certains cas extrêmes de sports d'endurance.

Au delà de la fatigue faisant suite à l'activité, on peut observer de l'asthénie correspondant à la perturbation durable de l'homéostasie. Dans ce cas le retour à un niveau basal se fera sur plusieurs jours, comprenant des apports alimentaires particuliers à des moments précis post- activité.

Ces objectifs sont la ré-hydratation et la reconstitution des réserves énergétiques musculaires et hépatiques.

L'hydratation permet de compenser les pertes hydriques, de participer au refroidissement de l'organisme, de lutter contre l'acidose et de drainer les déchets du catabolisme. Le type et le volume du breuvage sont fonction de l'individu, de son activité (durée et intensité), de l'environnement et de son hydratation pendant l'activité. L'acidose est issue de la libération d'ions H⁺ par le muscle lors de la transformation de l'acide lactique en lactate dans le métabolisme de fourniture énergétique. La correction de l'acidose est facilitée par l'absorption de solution alcaline (tel que les eaux Vichy, Perrier, Badoit, ou les yaourts à boire) qui ont un effet tampon par leurs riche taux en phosphates, bicarbonates et en protéines laitières. L'absorption de boissons énergétiques permet de compléter les apports qu'une alimentation adaptée ne permet pas de fournir. Elles apportent des minéraux spécifiques (Fe²⁺), de l'énergie (glucose et fructose) et possèdent également un effet tampon grâce à ses bicarbonates. Un apport conjoint de protéines permet la fourniture en acides aminés à des tissus en reconstruction. Ceci augmente l'insulinémie qui favorise l'absorption des glucides et des acides aminés dans les tissus. Elles sont à tester avant les périodes de compétitions car ne conviennent pas à tous.

Dans son ouvrage D. RICHE répond à la question de l'absorption de boissons diurétiques favorisant l'élimination des déchets du métabolisme après effort. Il suggère de favoriser l'hydratation de l'organisme à l'élimination des déchets pour la récupération d'une activité ayant produit une perte hydrique conséquente.

Le second objectif de la ration de récupération est la reconstruction des réserves énergétiques musculaires et hépatiques. La re-synthèse rapide des stocks de glycogène est un facteur déterminant de la récupération, surtout lorsque les entraînements et les compétitions s'accumulent. Cette reconstitution dépend du niveau de déplétion et des apports en glucides[11].

Lors d'une déplétion en glycogène musculaire important, et que le sujet consomme des glucides dès l'arrêt de l'exercice, la reconstitution des stocks de glycogène s'effectue en deux phases: une première phase dite rapide, d'une durée comprise entre ½ heure et une heure; et une phase qualifiée de lente dont la durée est de plusieurs heures.

Le temps entre la fin de l'exercice et la prise de glucide apparaît également déterminant dans la reconstitution des stocks de glycogène. Ainsi d'après des études de 1988 menées par Ivy & coll., une re-synthèse rapide du glycogène musculaire se fait lors d'une consommation de glucides dès la fin de l'exercice. Elle est fixée à 1,2g/Kg et ce sur des intervalles d'une heure pendant cinq heures.

Dans le cas où l'apport glucidique est inférieur à 1,2g/Kg un apport supplémentaire en acides aminés et en protéines permet de compenser. Il est cependant inutile de consommer davantage de glucides, ne permettant pas la formation d'un stocks plus important de glycogène.

La ration de récupération doit privilégier les apports d'aliments basiques et alcalins comme la pomme

de terre et les légumes, excepté la tomate. Il existe quatre facteurs influençant la capacité de l'organisme à métaboliser les acides. Ce sont les quantités d'aliments consommées, la fréquence des apports, le moment de l'apport et l'équilibre des apports d'aliments acides et alcalins. À ces facteurs peuvent s'ajouter la prise de boissons spécialisées précédemment présentées.

RÉCUPÉRATION ACTIVE OU « DÉCRASSAGE »:

Le second moyen de récupération, peut être le plus populaire dans le milieu des sports collectifs, est le décrassage. Qu'est ce qu'un décrassage? Le décrassage est la course lente de quelques minutes recommandée au sportif après une compétition ou un match. Il permet un retour progressif des constantes de l'organisme à une valeur basale (débit cardiaque, VO₂ et température corporelle). Elle est également recommandée pour éviter le malaise vagal ou hypotension post-exercice. Ce malaise survient chez certaines personnes après un arrêt brutal d'un exercice intense. Ainsi il est communément recommander, chez les personnes effectuant des efforts intenses, de poursuivre l'exercice à une intensité modérée pendant une trentaine de minutes.

L'idée reçue de la récupération active est d'accélérer l'oxydation du lactate dans le muscle. Il a été établi que l'oxydation du lactate est favorisée après un exercice entre 30 et 60% de la VO₂max sur 20min ou plus. Cependant même après une tel récupération la performance n'est pas significativement meilleure [11]. Ainsi la recommandation d'une récupération active sur la seule base de d'une élimination du lactate dans le sang n'est pas justifiée. En outre, après un match ou une compétition les réserves de glycogène sont déjà réduites, une course supplémentaire à intensité modérée ne ferait que réduire d'avantage ce stock déjà faible. Dans ce cas la récupération active n'accélère pas le processus de récupération. Toute fois, la récupération active permet de poursuivre la vascularisation des muscles soutenant une activité aérobie [13]. Le muscle est alors davantage drainé et oxygéné qu'au repos. De plus le métabolisme aérobie est capable de puiser son énergie dans l'hydrolyse des lipides. Hors les réserves en lipides sont considérées comme inépuisables au cours d'une activité sportive. Des études complémentaires doivent être réalisées afin d'approfondir l'intérêt du décrassage.

LES ÉTIREMENTS:

Très souvent associés au décrassage, les étirements sont également évoqués dans les moyens de récupération. Il existe aujourd'hui de nombreux articles traitant des étirements autour de la performance sportive. Ceux-ci s'interrogent sur la participation des étirements dans l'échauffement, leurs effets dans la prévention des blessures de l'appareil locomoteur, ou encore l'intérêt qu'ils ont dans la récupération sportive? Pour éclairer les questions posées sur leurs intérêts dans la

performance sportive deux articles d'opinion différents ont été retenus.

GUISSARD N. [14] développe l'intérêt des étirements dans la préparation de la performance. Selon elle, ils sont garant d'une qualité physique qu'est la souplesse. Celle-ci permet un contrôle moteur optimal sur l'ensemble de l'amplitude articulaire. Pour l'auteur, les étirements permettent alors d'améliorer la performance et de prévenir des blessures. L'auteur expose la nécessité de définir les objectifs de l'étirement avant sa mise en place, car ses effets sont multiples. Ils permettent de faciliter les glissements entre les plans aponévrotiques et les muscles, de participer au travail de la proprioception, d'améliorer les coordinations musculaires (intramusculaires et extramusculaires), de préparer le muscle à l'activité physique, de ré-harmoniser les tensions musculaires après effort et enfin d'augmenter les amplitudes articulaires. Toutefois ils ne permettent pas d'accélérer la récupération des capacités contractiles du muscle, mais permettent de réguler les tensions entre agonistes et antagonistes. Avec cet objectif de ré-harmonisation l'action est ciblée sur la boucle réflexe d'inhibition des neurones moteurs par les organes tendineux de Golgi présent dans les tendons. Ceci permet de restituer au muscle son tonus basal, c'est à dire d'améliorer son relâchement à la suite de sa sollicitation. L'adaptation des étirements à l'objectif préalablement défini permet de préserver des structures du muscle traumatisées par l'activité physique intense (stries Z, titine par exemple).

G. COMETTI [7] conclut sur cet effet de relâchement qui selon lui doit être nuancé. L'auteur définit l'étirement comme une mise en tension maximale du muscle. La variable étant le temps de l'étirement. G. COMETTI attribue aux étirements un effet antalgique qui endort les récepteurs de la douleur qu'il nomme stretch-tolérance. Une mise en tension maximale d'un muscle venant d'être intensément sollicitée provoquerait de nouveaux microtraumatismes. L'auteur annonce un rôle dé-coordonnateur à des étirements mal conduits par l'athlète, avec l'exemple des ischio-jambiers sur étiré par rapport à des quadriceps, perdant leur rôle freinateur de l'action quadricipitale. Enfin un effet de « creeping » est attribué à des étirements de forte intensité et de longue durée. Cet effet est dû à une réorganisation des fibrilles de collagène qui perdent leur obliquité, causant alors une perte d'élasticité relative des structures passives du muscle. L'auteur préconise alors les étirements dans le cadre de la récupération uniquement pour des activités physiques sollicitant des amplitudes articulaires extrêmes. L'objectif étant de conserver les amplitudes grâce au relâchement musculaire. Malgré cela il préfère conseiller des techniques PNF (contracter-relâcher ou contraction des agonistes) plus performantes dans le relâchement du muscle.

Ces deux points de vue illustrent parfaitement les disparités entre les discours des professionnels du sport autour des étirements. Néanmoins les notions d'étirements passifs, actifs et balistiques commencent à être introduites dans les protocoles, avec pour chacun, un objectif le

caractérisant. Les étirements passifs maximaux de longue durée étudié par G. COMETTI sont à l'origine de la remise en question de leurs intérêts dans le sport. Cependant ce mode d'étirement est rarement utilisé dans la plus part des sports. Seuls des protocoles similaires, aux moyens et objectifs définis permettront de déterminer leurs intérêts.

LES MASSAGES:

Dans le milieu sportif, notamment du football professionnel, les massages sont couramment employés pour préparer le sportif à la compétition mais également pour favoriser la récupération après des exercices intenses. Le massage consiste en l'application d'une pression mécanique sur les tissus sous-jacents (tissu cutané, tissu adipeux, tissu musculaire et tissu vasculo-nerveux). On considère alors de manière empirique que le massage réduit l'oedème, les tensions et les douleurs musculaires, et produirait la sensation de bien-être [11].

L'amélioration de la performance par une meilleure récupération par le massage paraît limitée. Des études ont montré que les massages ne modifiaient pas le débit sanguin. D'autres démontrent que le massage de récupération à la suite d'une séance intense n'influence pas la performance d'exercices d'endurance et de force. En revanche de nombreuses études rapportent les bénéfices psychologiques du massage de récupération. Il permet un retour au calme, une diminution de la perception subjective des douleurs musculaires et donc une meilleure récupération selon le sportif.

On retiendra que le massage de récupération ne permet pas une amélioration vraie des performances, ni un retour plus rapide à l'homéostasie. Néanmoins il contribue à réduire les sensations douloureuses dus à l'activité physique intense. C'est également un moment privilégié entre l'athlète et le thérapeute, au cours duquel nous pouvons lui prodiguer quelques conseils et faire un état des lieux de sa condition physique permettant de prévenir les blessures et le surentrainement [4].

L'ÉLECTROTHÉRAPIE:

Dans le milieu du sport l'électrostimulation est un moyen fréquemment utilisé pour l'entraînement et pour la rééducation. C'est un outil peu encombrant et facile à utiliser. Pour la récupération ce sont ses effets hyperhémiant, endorphinique et de pompage musculaire qui sont utilisés [11].

Dans la pratique [13] une fréquence comprise entre 8 et 9 Hz permet une augmentation du débit artériel après 5min de stimulation. Ceci est en rapport avec la réduction de la résistance vasculaire davantage marquée à 8-9 Hz qu'à 3 Hz. Ceci est possible à condition d'effectuer la séance à une intensité minimale de 20 mA. L'effet de pompage veineux est obtenu entre 1 et 2 Hz. Cette fréquence de stimulation produit une contraction musculaire à l'origine de ce pompage. L'intensité du courant

est au minimum de la contraction musculaire et au maximum du supportable. La libération d'endorphine, à l'origine de l'effet antalgique, se fait pour une fréquence de stimulation de 4 Hz. Le tableau de la figure 4 résume les effets de l'électrostimulation.

Comme pour les massages, l'électrostimulation est essentiellement utilisée lors de la récupération pour la sensation de bien-être que cette technique procure.

Fréquence	Durée	Intensité	Effet
8 à 9 Hz	20 min	20 mA minimum	Hyperhémiant
4 Hz	Sujet dépendant	Sujet dépendant	Antalgique
1 à 2 Hz	20 min	Max supportable	Pompage musculaire

Figure 4: Récapitulatif des modalités et effets de l'électrostimulation.

Toutefois son utilisation ne fait pas consensus. Les résultats d'études portant sur le bénéfice de l'électrostimulation dans le processus de récupération sont controversés. Davantage d'études sont nécessaires pour systématiser son utilisation.

LES BAS DE CONTENTION:

Depuis quelques années il est commun de voir au cours des Raids ou des matchs de handball, des sportifs porter des bas de contention. Initialement utilisé pour les pathologies du système circulatoire (thrombose veineuse), les bas de contention permettent par une compression des vaisseaux d'améliorer la circulation sanguine grâce un meilleur retour veineux. Au regard de l'effet hemodynamique des bas, ils ont été adaptés à la pratique sportive. En effet au cours d'une activité sportive la pression sanguine augmente, et le débit sanguin peut augmenter de vingt fois son niveau basal. Ce sont les fascias et les aponévroses qui résistent aux variations de pression limitant la dilatation du système veineux, ce qui permet de maintenir un débit sanguin adéquat.

Le port de ces contentions, dont la pression distale est plus faible que la pression proximale, a un effet dit « boost » car elles diminuent la pression du système veineux en la maintenant à 20/25mmHg ce qui accélère le flux de retour et maintient la micro-circulation des tissus [13]. Seuls les bas de contention semblent efficaces pour la récupération et non les chaussettes. Il existe peu d'études s'intéressant à l'efficacité des bas de contention sur la récupération et la performance. Toutefois une étude menée par CHATARD et al. (2005) sur des personnes âgées sportives, a trouvé que 1h 20 après un exercice excentrique intense de 5 min, la performance (travail sur 5min) est meilleure chez les sujets portant des bas de contention. À cela s'ajoute une réduction du taux de créatine kinase plus faible pour le groupe porteur de contention que le groupe témoin. De plus une sensation subjective de meilleure récupération et de moindre douleur est rapporté par les sportifs utilisant des contentions.

En pratique C. GEOFFROY, kinésithérapeute attaché à la FFF, préconise des les porter pendant deux heures après l'effort. Dans le cas d'effort intense elles peuvent être portées lors de l'activité. Pour résumer, des bas de contention adéquate favorisent le retour veineux après une activité intense et permettent de mieux récupérer. Néanmoins des études complémentaires sont nécessaires pour confirmer ces résultats.

LA CRYOTHÉRAPIE:

Initialement utilisée en médecine pour ses effets antalgiques et anti-inflammatoire, la cryothérapie est depuis quelque années énormément développée dans le milieu du sport à la fois pour le traitement des traumatologies du sport mais également pour la récupération du sportif. Ses formes sont nombreuses (spray, gaz, air, liquide, gel, glaçon, ...). À certaines formes est attribué un effet spécifique. On peut retenir l'effet de neurocryostimulation donné à la cryothérapie gazeuse [25]. Le CO₂ est projeté à une température de -72°C sous une pression de 50bar, cette forme est très intéressante dans le traitement des traumatologies du sport. D'autres moyens existent comme la cryothérapie corps entier mais qui restent plus onéreuses.

Concernant la récupération l'immersion en eau froide est la pratique la plus courante. Elle consiste à immerger le sportif dans une eau comprise entre 4°C et 16°C. Cette immersion se fait pendant 30 sec à 120 sec. Elle est répétée deux à cinq fois sur une quinzaine de minutes [15]. Cette cryothérapie met en jeu deux mécanismes. Le premier est la température du bain. Le froid permet de réduire la température corporelle, de générer une vasoconstriction, de réduire la vitesse de conduction nerveuse et de réduire l'inflammation. Le second mécanisme est la pression hydrostatique favorisant le mouvement des gaz, fluides et substances, ce qui est favorable à la réduction des œdèmes. Cette pression permet de comprimer les structures molles autour des nerfs ce qui réduit sa conduction.

Il a été montré qu'une activité physique maximale entraînait une fatigue neuromusculaire. Nous tenterons de montrer que les effets antalgique et anti-inflammatoire de la cryothérapie, qui constituent un des deux mécanismes de l'immersion en eau froide, permettent de réduire cette fatigue et donc d'accélérer la récupération de la fonction musculaire, moteur de la performance motrice. Pour répondre à cette problématique trois parties vont être développées. La première est une présentation de la cryothérapie et de son mode d'action. La seconde présente l'expérimentation réalisée avec la participation des élèves de première année de l'IFMK de Rennes. Enfin la dernière partie est une conclusion du travail. Celle ci fait suite à la discussion de l'expérience et est faite au regard des références scientifiques traitant de ce sujet.

II-INTÉRÊT DE LA CRYOTHÉRAPIE

La cryothérapie est une physiothérapie utilisant le froid. Elle est définie par KNIGHT comme l'application de tous moyens thérapeutiques visant à réduire la température du corps et donc des tissus.

Cette thérapie obéit aux lois de la thermodynamique. La chaleur, mesurée en calories, est une énergie qui diffuse toujours d'un niveau d'énergie supérieur vers un niveau d'énergie inférieur.

Depuis l'antiquité l'utilisation du froid est utilisé à des buts thérapeutiques et de bien être. Depuis les années soixante dix la cryothérapie est en redécouverte.

Actuellement, les effets de la cryothérapie ayant été démontrés sont la réduction de la douleur et de l'œdème, se produisant lors de la réponse inflammatoire après lésion de tissu. Certaines recherches ont également démontrées qu'elle diminuait la vitesse de conduction nerveuse, le métabolisme cellulaire et la vascularisation des tissus refroidis [12, 15, 18].

La cryothérapie a une action anti-inflammatoire. Mais pourquoi lutter contre ce processus immunitaire inné indispensable à la défense de l'organisme?

L'ACTION ANTI-INFLAMMATOIRE:

HUBBARD et col. [16] proposent deux probables mécanismes pouvant expliquer l'efficacité de la cryothérapie: le contrôle de la douleur ou la réduction de la lésion secondaire des tissus.

Le mécanisme en faveur de la réduction de la douleur est la diminution de la vitesse de conduction nerveuse par le froid. Cet action nerveuse fut également démontrée par D. RICE dans l'étude de l'« arthrogenic Muscle Inhibition » [23], où le refroidissement des nerfs périphériques réduit la vitesse de conduction nerveuse de façon linéaire empêchant notamment la propagation des messages nerveux de haute fréquence. À cela il ajoute que les effets d'un refroidissement modéré ont des effets identiques sur les fibre de gros et petits diamètres. La cryothérapie permet donc d'atténuer considérablement l'augmentation des afférences causées par l'inflammation d'un tissu. Le contrôle de la douleur permet alors au patient de débiter et de progresser davantage dans la prise en charge de sa lésion. Ainsi dans le cadre de l'atteinte du muscle strié squelettique des membres inférieurs, elle permet de maintenir la fonction locomotrice la plus proche de la normale et par conséquent les activités du patient.

La seconde hypothèse cherchant à expliquer l'effet de la cryothérapie s'appuie sur les travaux de KNIGHT qui, dans les années 1990, avance l'hypothèse d'une lésion secondaire à la lésion primaire d'un tissu. MERRICK poursuit les recherches sur ce sujet et posa alors la question suivante

« l'efficacité à court terme de la cryothérapie n'est elle pas due à la réduction ou à la prévention de la lésion secondaire des cellules initialement préservées du traumatisme primaire; ou bien l'efficacité est elle expliquée par la sauvegarde ou le retard de la mort des cellules initialement abimées mais pas détruites? ». Il conclut que le mécanisme à l'origine de cette lésion secondaire est une ischémie, utilisant alors le terme de lésion secondaire ischémique. Le terme de ischémique est préféré à celui de hypoxie, avancé par KNIGHT, car elle fait intervenir à la fois l'oxygénation, l'apport de substrats et le drainage des déchets du métabolisme.[16] La figure 5 présente la mise en place de la réponse inflammatoire secondaire à la lésion primaire, qui est à l'origine de la lésion secondaire décrite par MERRICK & KNIGHT. (Annexe 6)

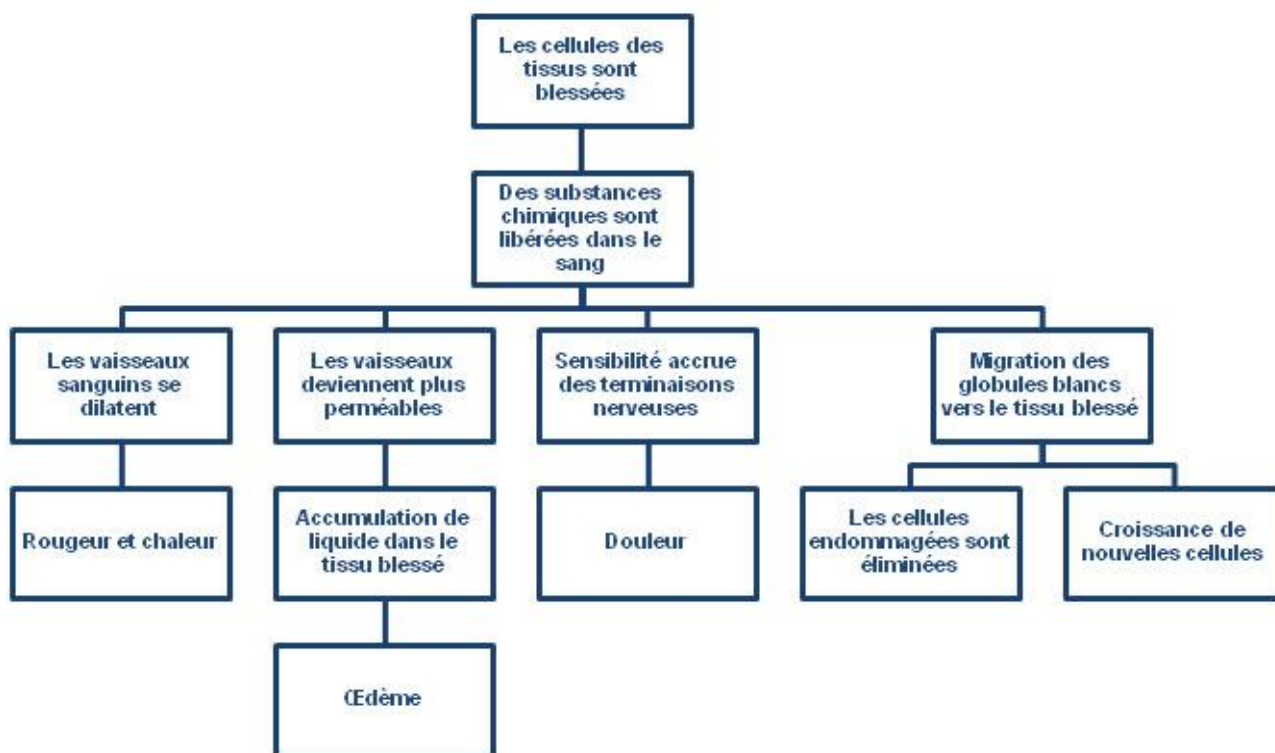


Figure 5:

[Copyright © 2010 International Association for Dance Medicine and Science (IADMS), Nadia Sefcovic, D.P.T., C.O.M.T. and Brenda Critchfield, M.S., A.T.C.]

Cependant qu'est ce qu'une cryothérapie efficace?

QUELLES CRYOTHÉRAPIE UTILISER:

Avant tout il est important de remarquer qu'il n'existe pas de parutions présentant de relations entre un tissu, un effet thérapeutique et une température. Autrement dit lorsqu'un tissu est lésé par un traumatisme, il n'existe aucune base de donnée nous indiquant de combien nous devons réduire la température du tissu pour le traiter. Dans le cas de la récupération de la fonction musculaire chez le

sportif, aucun consensus n'existe s'il est préférable d'appliquer du froid plutôt que du chaud. Cependant les auteurs s'accordent à dire qu'une cryothérapie efficace est celle qui permet une réduire rapidement et amplement de la température du tissu cible. Vient alors à se poser la question suivante, Quelle est la cryothérapie qui possède ces capacités?

Mis à part les cryothérapies onéreuses et sophistiquées, laquelle des cryothérapies accessible comme les glaçons, le cold-pack ou la vessie de glace est la plus efficace? Pour répondre à cette question, il est nécessaire de rappeler quelques lois et définitions de la physique en plus de la loi de la thermodynamique. Les principes de diffusion de l'énergie dépendent de la capacité thermique et de la conduction thermique du/des milieux de propagations. La capacité thermique (I) est la capacité d'un matériau à absorber de l'énergie. La conductivité thermique (L:lambda) est le pouvoir d'un matériau à conduire l'énergie (Plus le lambda est faible, plus le matériau est résistant au transfert d'énergie par conduction). Un exemple de comparaison des moyens de cryothérapie sont présenté dans la figure 6.

Capacité thermique	$I(\text{air}) < I(\text{eau}) < I(\text{glace pilée}) < I(\text{gel}) < I(\text{glace})$
Conductivité thermique	$L(\text{air}) < L(\text{gel}) < L(\text{eau}) < L(\text{glace pilée}) < L(\text{glace})$

Figure 6: comparatif des capacité et conductivité thermique de l'air, du gel, de la glace pilée et de la glace

Pour qu'un moyen de cryothérapie soit efficace il faut qu'il refroidisse rapidement et amplement la zone à traiter. De cette manière le moyen doit être capable d'absorber rapidement un maximum d'énergie. Autrement dit sa capacité thermique doit être importante et sa conductivité thermique élevée [32, 33]. La glace semble correspondre à ces caractéristiques cependant, comme le présente DYKSTRA [12], il se pose la problème de l'air présent autour de la glace. Pour remplir ce vide il fait le choix de remplir ses vessies de glace puis de les compléter par de l'eau. De cette manière la vessie s'adapte mieux à l'anatomie de la zone à traiter et les espaces vides entre les glaçons sont comblés une substance moins isolante que l'air.

En dehors de cet réflexion Physique du problème, DYKSTRA compare dans une étude de 2009 les effets de la glace seule, de la glace pilée et de la glace avec de l'eau sur la température cutanée et intramusculaire. Ses conclusions sont regroupées dans le tableau de la figure 7.

	Température cutanée	Température intramusculaire
Glacé seule	++	++
Glacé pilée	++	+
Glacé avec eau	+++	+++

Figure 7: Résultats de l'étude de DYKSTRA (Journal of athletic Training, 2009)

De la même façon que les tissus se refroidissent, ils finissent pas retrouver leur température initiale. Ce retour à la température basale n'est pas identique selon la profondeur du tissu musculaire. La température cutanée décroît immédiatement après l'application de froid. De manière similaire elle croît immédiatement après retrait de la cryothérapie selon une courbe exponentielle. Toutefois ces variations de température diffèrent selon les profondeurs. Les travaux de MERRICK observant l'évolution de la température après une cryothérapie par glace pilée sur le quadriceps, montrent que la température continue à chuter après retrait de la glace [18]. À une profondeur de 1 cm sous-cutané il faut attendre 5 minutes avant que la température arrête de chuter et 7 minutes à 2 cm de profondeur. L'étude montre qu'il faut attendre plus de 6 heures avant un retour à la température initiale des tissus sous-cutanés. Pour notre pratique il est important de retenir que la température cutané n'est pas un marqueur de l'évolution de la température des tissus sous-cutanés.

LES CONTRE-INDICATIONS ET PRÉCAUTIONS DE LA CRYOTHÉRAPIE:

Malgré sa popularité dans le sport et son utilisation répandue dans les services de chirurgie orthopédique, la cryothérapie a quelques contre indications.

Il ne faut jamais poser de cryothérapie à des personnes ayant une perte de la sensibilité cutanée et thermique. Ces personnes ne sont pas capables de ressentir la douleur qui anticipe l'engelure voire la gelure. Certaines personnes sont atteintes d'allergie au froid, l'exposition au froid peut induire chez eux une libération massive d'histamine et d'agents chimiotactiques de polynucléaires [2].

Il ne faut pas appliquer de cryothérapie chez des personnes atteintes de syndrome de Raynaud, de cryoglobulinémie, la cryofibrinogénémie, l'immunoglobuline monoclonale, l'agglutinine froide, les pathologies artérielles et les patients atteints d'insuffisance circulatoire.

Il est également naturel de ne jamais déposer de froid sur des plaies ou cicatrices ouvertes.

En plus de ces contre-indications la cryothérapie peut provoquer des complications cutanées allant de l'engelure à la gelure (nécrose des tissus par le froid), la cryothérapie peut provoquer des lésions nerveuses si elle est mal utilisée. Ainsi T. MALONE a regroupé 6 cas de lésion nerveuse périphérique, de type axonotmésis, dans les années 1990 à l'université de DUKE aux États Unis [17]. Il note que les traitements ont été réalisés par de la glace, de la glace pilée, des « ice-packs » en application directe mais également une cryothérapie par massage à la glace. Les lésions concernaient des nerfs fibulaires externes, des nerfs cutanés fémoral, et un nerf supra-scapulaire. La durée des traitements allaient de 15 minutes à 60 minutes. Et la durée de la paralysie allait de une heure à près de 6 mois. Cependant dans sa conclusion l'auteur modère son propos. En effet ces six cas représentent les seuls cas de complication dus à la cryothérapie sur une période de 1988 à 1991 pour l'ensemble des étudiants de la Caroline du Nord. À cela s'ajoute une utilisation non prescrite par un

professionnel de santé. Pour cette raison l'athlète ne peut pas connaître les précautions nécessaire. Toutefois les lésions de la cryothérapie peuvent avoir des facteurs favorisants comme une peau mince comportant peu de tissu adipeux sous-cutané (individu de masse grasse faible); une intolérance au froid; une dynamique thermique particulière (chute de la température malgré l'ablation de la cryothérapie) et un non respect du protocole de cryothérapie associé à une compression. Les facteurs de protection sont le sexe féminin (tissu adipeux sous-cutané plus important); et une bonne vasomotricité permettant une vascularisation optimale et donc un réchauffement meilleur et enfin le respect des protocoles.

De nombreux auteurs ont étudié le mécanisme des lésions des nerfs périphériques causé par le froid. SUNDERLAND l'a résumé en six points:

1. La fonction motrice est la première touchée.
2. L'atteinte sensitive est secondaire à l'atteinte motrice, avec d'abord l'épicritique puis le protopatique. (en lien avec la taille des fibres)
3. S'il n'y a pas eu de nécrose de tissus, au retrait de la glace la fonction sensitive retrouvée avant la fonction motrice.
4. Il existe de grandes différences à la résistance au froid entre les individus.
5. Les lésions nerveuses semblent apparaître lorsque le tissu nerveux est refroidi en dessous de 10°C.
6. Une atteinte totale des fonctions nerveuses se produisent entre 0° et 5°C.

III-MÉTHODOLOGIE

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'effet d'une cryothérapie dans le cadre de la récupération de la fonction musculaire chez des sujets peu ou pas sportifs.

PRÉSENTATION DE LA POPULATION:

La population de l'étude comporte quatorze étudiants volontaires de première année de Masso-Kinésithérapie de l'IFMK de Rennes. Les critères d'exclusion sont tous les traumatismes de moins de 4 mois des membres inférieurs, les pathologies rhumatismales, les myopathies, les troubles cardio-respiratoires, les pathologies vasculaires, les intolérants au froid (ou cryoglobulinémie,...), les troubles de la sensibilité (thermique), les sportifs licenciés en compétition. Les critères d'inclusion sont les individus faisant moins de 3 heures de sport par semaine, une bonne santé.

Le ratio homme/femme est de 1. La moyenne d'âge de la population est de 20,8 ans. L'IMC moyen de cette population est de 21,87.

Le groupe test est composé de 7 individus. L'âge moyen de ce groupe est de 20,71 ans (médiane = 20ans). L'indice de masse corporelle moyen du groupe test est de 21,26 (médiane = 20,73). (annexe 7)

Le groupe témoin comporte 7 volontaires dont la moyenne d'âge est de 20,86 ans (médiane = 21ans) et un IMC moyen de 22,49 (médiane = 22,98). (annexe 7)

MATÉRIEL:

Pour réaliser l'expérience il nous a fallu une presse oblique Design Corporel, mise à disposition par l'institut, afin de réaliser le travail excentrique et un vélo KETTLER® pour l'échauffement des sujets. La cryothérapie utilisée est une vessie de glace BRUNET® de 30cm de diamètre remplie au 2/3 de glaçons et de 1/3 d'eau froide. L'outil de mesure est le Myotest® dont le protocole saut/puissance a été utilisé pour l'expérience. (annexe 8)

PROTOCOLE:

L'étude s'est déroulée en trois phases. La première a consisté à évaluer la Résistance Maximale d'une jambe choisie au hasard de chaque volontaire. Le calcul de la RM s'est fait selon le tableau de BERGER (annexe 9) sur presse oblique.

La phase suivante a été réalisée trois semaines après le calcul de la RM. Pour ce faire les volontaires ont commencé par réaliser un échauffement de cinq minutes sur vélo. Puis ils ont effectué deux séries de 3 sauts avec le Myotest® à la ceinture face à un mur, à une distance de trois mètres dans un espace libéré. Le protocole des sauts est celui proposé par le Myotest® dont les consignes

données étaient les suivantes:

« Tu places tes mains sur les hanches et tu regardes devant toi. Au bip long tu descendras, pieds à plat, genou à 90° de flexion et le dos droit. Puis tu restes immobile en attendant le bip court. À ce bip tu sauteras le plus haut possible sans t'aider de tes bras, toujours sur les hanches. Ta réception de saut se fera souplement et tu te replaceras debout jambes tendus en attendant la prochaine série de bip. »(figures 8 et 9). Deux séries ont été réalisées pour permettre au sujet de se familiariser avec le protocole de saut et finir de s'échauffer. Les deux séries ont été séparées par deux minutes. Pendant ce temps les sujets ont marché permettant une restauration des réserves de phosphocréatine. La hauteur maximale atteinte par le sujet durant la seconde série est retenue. Suite à l'évaluation de sauts, il leurs a été demandé de réaliser un travail excentrique à 120% de leur RM sur la presse oblique. La consigne est de retenir, sur trois secondes et à une jambe, le plus grand nombre de descente du plateau possible, jusqu'à épuisement. Une fois arrivé en bas, genou à 90° de flexion environ, la charge est remontée à l'aide des deux jambes. Cet exercice marque la fin de la seconde phase pour les sujets du groupe témoin. Concernant les individus du groupe test, ils sont installés sur une table de massage en décubitus dorsal, genoux déverrouillés et le buste relevé. Il leur a été posé une vessie de glace durant 20 minutes. La vessie est posée en regard du point équidistant de l'épine iliaque antéro-supérieure et la base de la patella, sur la cuisse ayant effectué les contractions excentriques.

La dernière phase de l'expérience a permis d'évaluer une seconde fois la hauteur maximale que pouvaient sauter les volontaires. Cette évaluation a suivi un échauffement de cinq minutes sur vélo. Elle a suivi le même protocole avec le Myotest® que lors de la seconde phase. Cette seconde évaluation de saut s'est réalisée 72H après les épreuves excentriques.



Figure 8:
Phase de descente.

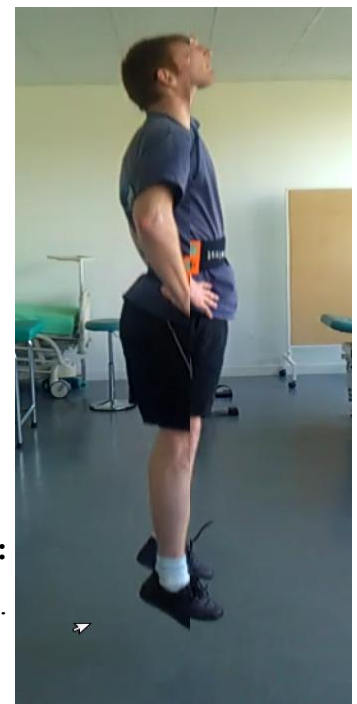


Figure 9:
Phase de saut.

IV-RÉSULTATS

L'étude statistique a été réalisée avec le logiciel R Commander version 2.9.2.

Au cours de l'expérience il y eu l'abandon des sujets 6, 10 et 14. Sur la population initiale de 14 volontaires seulement 11 ont réalisé totalement l'expérience. Deux personnes ont été exclues du protocole, car l'un s'est fait une entorse externe de la cheville gauche avec arrachement osseux, et l'autre pour une douleur de la cuisse gauche qui a été sujette à claquage (c'est à dire lésion massive de fibres musculaire et atteinte du tissu conjonctif s'accompagnant d'un hématome) 5 mois et demi avant l'expérience. Une troisième personne à été absente lors du test 2 du protocole expérimental pour raisons personnelles. De plus par le fait du hasard ces trois personnes appartenaient au même groupe, le groupe témoin, réduisant la population à 4 personnes. Ces abandons représentent 21.4% de la population initiale, ce qui rend les résultats suivants non fiables, car l'abandon est supérieur à vingt pour-cent, et les groupes statistiquement différents d'après le Test de Student. Toutefois les résultats et leurs analyses sont exploités à but pédagogique.

Les résultats d'évaluation des hauteurs de sauts avec le Myotest® ont été regroupés dans le tableau de la figure 10 .

SUJET	TEST 1	TEST 2
1	29.1 cm	29.6 cm
2	26.3 cm	23 cm
3	23.2 cm	22.5 cm
4	33.2 cm	32.3 cm
5	25 cm	25 cm
7	34.4 cm	32.1 cm
8	25.2 cm	20.1 cm
9	44.4 cm	41.3 cm
11	28.1 cm	23.9 cm
12	25 cm	25.7 cm
13	32.3 cm	30 cm

Figure 10 : Résultats des évaluations de hauteur de sauts pour l'ensemble de la population.

Pour chacun des groupes il a été calculé la différence de hauteur obtenue au premier test avec le second (Figures 11 et 12). Ainsi les valeurs positives représentent la perte considérée normale de hauteur du fait d'une récupération de la fonction musculaire pas encore complète. Les valeurs négatives sont celles qui ne concordent pas avec cette hypothèse.

GROUPE TÉMOIN	
SUJET	TEST 1 – TEST 2
2	3.3 cm
4	0.9 cm
8	5.1 cm
12	-0.7 cm

Figure 11: Tableau des différences de hauteur saut entre le test 1 et le test 2 concernant le groupe témoin.

GROUPE TEST	
SUJET	TEST 1 – TEST 2
1	-0.5 cm
3	0.7 cm
5	0 cm
7	2.3 cm
9	3.1 cm
11	4.2 cm
13	2.3 cm

Figure 12: Tableau des différences de hauteur de saut entre le test 1 et le test 2 concernant le groupe test.

Le groupe témoin, n'ayant pas reçu le traitement de récupération par cryothérapie, saute en moyenne 2.15 cm de moins au test 2 qu'au test 1, dont la médiane est à 2.1 cm. Avec une variance de 6.57 et un écart type de 2.56. La population témoin n'étant que de 4 individus l'intervalle de confiance est alors de [-0.75 ; 5.05]. Ses résultats sont regroupés dans la figure 13.1 .

Le groupe test saute en moyenne 1.73 cm de moins lors du second test par rapport au premier. La médiane de ce groupe est de 2.3 cm. La variance de ce groupe est de 2.94 et son écart type égal à 1.72. Comptant 7 individus, l'intervalle de confiance est alors [0.36 ; 3.10]. Les résultats sont regroupés dans la figure 13.2 .

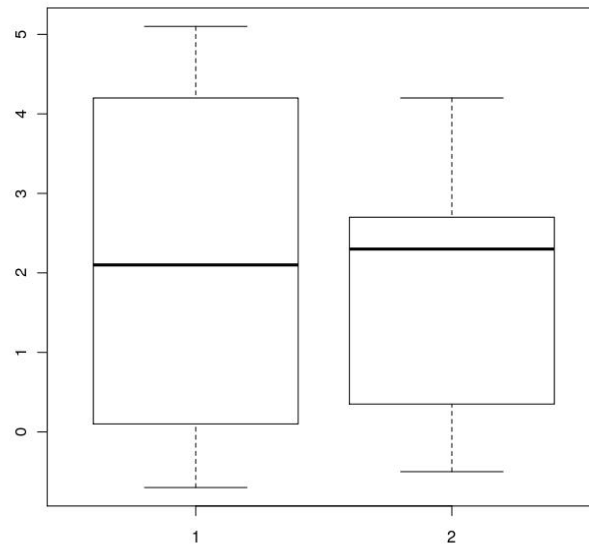


Figure 13 : Boxplot du groupe témoin (1) et du groupe test (2).

COMPARAISON:

La différence de moyenne entre le groupe témoin et le groupe test est de 0.42 cm. La différence des médianes est quant à elle égale à -0.2. L'étude statistique des intervalles de confiance des deux groupes, illustrée par la figure 11 montre qu'il n'existe pas d'écart significatif entre les deux groupes.

V-DISCUSSION

Avant l'analyse des résultats il faut rappeler que cette étude n'a pas pour objectif premier de démontrer un fait. N'ayant pas de valeur scientifique elle permet toutefois d'illustrer un travail de fin d'étude dans l'objectif de l'obtention du diplôme d'état de Masseur-kinésithérapeute. Elle a valeur d'étude d'investigation, offrant une possible base pour un futur travail sur la récupération de la fonction musculaire.

Malgré un taux d'abandon supérieur à 20% l'étude statistique des résultats a montré qu'il n'existait pas de différence significative entre les deux groupes. C'est à dire que la cryothérapie utilisée n'a pas d'effet sur la récupération, à trois jours, de la performance motrice de saut. Cependant ce résultat ne permet pas de conclure sur l'intérêt de cette thérapie dans la récupération de la fonction musculaire. L'absence de différence entre les groupes peut être expliquée.

Concernant la méthode, la population étudiée est trop faible. Elle n'est donc pas représentative de la population générale et encore moins de la population de sportifs dont il s'agissait dans l'introduction. Pourquoi avoir choisi des individus peu ou pas sportifs? Le choix de cette population s'est fait pour deux raisons. La première est pratique, il est plus facile de générer des lésions musculaire de type 1 chez des personnes sédentaires. Car, comme l'avance CHEUNG K. [5], les DOMS (équivalent à des lésions musculaires de stade 2) apparaissent lors d'activités excentriques à charges et à cinèses inhabituelles [19]. Par cinèse on entend les caractéristiques du mouvement dans une activité donnée. La seconde est l'accessibilité, il était plus aisé de trouver des personnes peu ou pas sportives parmi les étudiants.

Le protocole peut être également discuté. Concernant le délai entre le calcul de la RM et le test 1, sont ils suffisamment éloignés? Les sujets ont rapporté, pour un grand nombre, des douleurs dans les 48h à 72h post-évaluation de la RM. Or la récupération totale après des DOMS peut aller jusqu'à 12 semaines [8]. Il est donc possible que la récupération de l'évaluation de la RM ait interféré dans la récupération du test 1, considérée dans cette étude. Cependant pour raisons d'emploi du temps il n'a pas été possible d'espacer d'avantage l'évaluation de la RM et le test 1.

Ensuite, le test utilisé évalue une performance motrice, ici la hauteur du saut, qui dépend de nombreux facteurs. La consigne étant de sauter le plus haut possible il intervient , et même si les deux tests ont été réalisés dans les mêmes conditions, le sujet se pose l'objectif de vouloir dépasser sa précédente performance qu'il ne connaît pourtant pas. Ce sont ces facteurs individu-dépendants, décrits par la philosophe SARRAZIN en 1995 dans « la théorie des buts motivationnels d'accomplissement », qui peuvent alors perturber les résultats.

L'activité excentrique demandée dans le protocole peut également être discutée. La consigne était de réaliser un maximum de répétitions jusqu'à épuisement. L'importance des lésions n'est donc pas similaire entre tous, car malgré un pourcentage de charge similaire [26] tous n'ont pas réalisé le même nombre de répétitions. De nouveau il intervient un phénomène motivationnel spécifique à l'individu.

Enfin le temps de récupération entre les deux tests ne permet peut être pas d'observer une différence significative entre les deux groupes. Pourtant la majoration des signes cliniques des modifications intramusculaires est à 3 jours, correspondant au délai séparant les deux tests [9]. Néanmoins l'IRM a permis de montrer par une modification du volume intra-musculaire, des modifications jusqu'à 3 semaines. Aucune donnée connue permet de déterminer le moment correspondant au maximum des modifications intra-musculaire. En revanche nous savons que le temps de récupération totale d'une activité excentrique intense est compris entre 8 à 12 semaines [8].

MALM et al. [20] montrent qu'il n'existe pas de corrélation entre la réponse inflammatoire systémique et les DOMS à la suite d'une activité excentrique. Les DOMS sont le symptôme des modifications intramusculaires secondaires à l'activité excentrique. J. PEAKE [20] conclut que la contraction excentrique est génératrice d'une réaction pro-inflammatoire localisée dans l'épimysium du muscle sollicité et non systémique du fait d'une régulation, individu et activité dépendant, des cytokines anti-inflammatoires. Cette conclusion présente deux éléments portant à discussion les résultats de l'expérience. La première est que la réponse inflammatoire est caractéristique de l'individu. Qu'elle est plus performante chez les femmes et régresse avec l'âge. Ce facteur constitutionnel s'ajoute aux capacités de récupération, tout comme le facteur d'adaptation de l'entraînement. C'est aussi un élément qui s'ajoute au manque de représentativité de la population étudiée déjà de faible nombre. Le second élément est la localisation ciblée de l'inflammation. L'expérience utilise un test de saut pour évaluer de récupération de la fonction musculaire et une presse oblique comme moyen d'activité excentrique. Ce test et cette activité excentrique sollicitent l'ensemble de la chaîne anti-gravitaire. Le traitement cryothérapeutique par la vessie de glace a peut être une capacité de surface de traitement trop limitée.

Toutefois les études traitants de ce sujet ont des résultats contrastés. VERDUCCI a étudié l'intérêt de la cryothérapie sur la fatigue musculaire [28]. Pour ce faire il a demandé à ses sujets de réaliser une rotation interne d'épaule, bras en position R2, contre une résistance infra-maximale. Les sujets réalisent ainsi 3 séries de 22 répétitions, séparées de 8 minutes. Avec le même moyen de cryothérapie que notre expérience, les épaules et bras des sujets sont traités pendant 3 minutes après chaque série. Ces résultats montrent une meilleure résistance à la fatigue avec une épaule traitée et une réduction

significative des DOMS.

SELLWOOD et al.[26] étudient l'effet de l'immersion en eau froide sur différents paramètres des DOMS. L'étude de SELLWOOD et la nôtre présentent quelques similitudes. Les populations sont jeunes (proches de 20 ans), étudiantes et peu ou pas sportives. Les activités excentriques demandées sont similaires, à des charges supra-maximales identiques. Dans l'étude Sellwood le traitement consiste en une immersion jusqu'aux épines iliaques antéro-supérieures. La température de l'eau est d'environ 5°C, et l'immersion est de 1 minute suivie d'une minute hors de l'eau, ceci est répété 3 fois. Les mesures sont effectuées 24, 48 et 72H après l'expérience. Ces résultats concordent avec ceux de notre expérience car ils n'observent aucune différence entre le groupe test et le groupe témoin dans les performances motrices.

Une autre étude sur l'immersion en eau froide présente des résultats différents [1]. Le traitement est effectué par une immersion au niveau des épines iliaques antéro-supérieures dans une eau à 10°C pendant 10 minutes immédiatement après l'activité musculaire. Les extenseurs de genou sont sollicités en isométrique et les fléchisseurs en excentrique. L'outil utilisé est un appareil isocinétique dynamométrique de type CYBEX®. Les résultats montrent que le quadriceps n'est pas sensible à la cryothérapie. Toutefois les ischio-jambiers présentent une meilleure récupération avec traitement cryothérapeutique comparativement au groupe témoin. L'étude présente également des résultats de tests fonctionnels comme un test de saut vertical, comme utilisé dans notre expérience, et un test de sprint. Les résultats de ces tests ne présentent aucune différence statistique entre les deux groupes.

Autour du sujet de la récupération musculaire les études se multiplient. Malgré ce sujet en commun les protocoles sont différents. Cette absence de consensus sur l'utilisation de la cryothérapie aboutit à des résultats expérimentaux différents qui peuvent induire en erreur les personnes qui n'approfondissent pas leurs recherches et précipitent leurs conclusions à la lecture d'un article scientifique.

CONCLUSION

L'objectif de notre étude était de montrer que les effets antalgiques et anti-inflammatoire de la cryothérapie, qui constitue un des deux mécanismes de l'immersion en eau froide, permet de réduire cette fatigue et donc d'accélérer la récupération de la fonction musculaire, moteur de la performance motrice. Les résultats ont montré que le protocole de cryothérapie utilisé n'a statistiquement pas d'influence sur la performance de sauts verticaux.

L'analyse d'études traitant du sujet ne sont pas unanimes sur l'action de la cryothérapie sur la récupération de la fonction musculaire. Toutefois une majorité d'entre elles présentent l'effet antalgique et psychologique de l'immersion en eau froide comme facilitateur de la récupération. De plus les DOMS sont parfois considérés comme seuls marqueurs de la récupération musculaire d'une activité musculaire excentrique intense. Les marqueurs sanguin tel que le taux de créatine phosphokinase, le taux de leucocyte inflammatoire (IL-6) et le taux d'ARNm ne semblent pas refléter le vrai degré des dommages musculaires provoqués par l'activité excentrique [20]. Des études d'investigations par imagerie sont venus compléter les connaissances sur la récupération, notamment l'IRM avec la mise en évidence d'une augmentation du volume intramusculaire synonyme de modification pouvant perdurer trois semaines [8].

Toutefois les indices physiques de la performance peuvent être considérés dans un protocole rigoureux, et notamment grâce aux nouveaux outils de mesure tel que les appareils d'isocinétismes.

BIBLIOGRAPHIE

- [1]: BAILEY et al. « Influence of cold-water immersion on indices of muscle damage following prolonged intermittent shuttle running » *Journal of Sports Sciences*, September 2007; 25(11), pp: 1163 – 1170.
- [2]: BARBAUD A. « Annales de Dermatologie et de Vénérologie; Urticaires physiques » Vol 130, N° HS 1-mai 2003, pp.127-129.
- [3]: BILLAT V. « Physiologie et méthodologie de l'entraînement, de la théorie à la pratique » 2^e édition De Boeck, Paris 2003; pp 184-186.
- [4]: CARCANO Y. & Al. « Le ressenti de sportifs lors d'un massage de récupération en termes de douleur et fatigue musculaires et de bien-être . » *Kinésithérapie la revue*, 2010;(104-105):46-50.
- [5]: CHEUNG K. et Al. « Delayed Onset Muscle Soreness: Treatment Strategies and Performance Factors »; *Sports Medecine*, Vol 33, N° 2, 2003, pp. 145-164.
- [6]: COMETTI G. « la récupération en préparation physique : où en est-on? » *Newsletter N°1 Centre d'Expertise de la performance* 2009.
- [7]: COMETTI G. « Les limites du stretching: Intérêt des étirements avant et après la performance »; *EPS N°304*, nov.-déc. 2003; pp: 29-33.
- [8]: COSTILL D.L. & Al. « Physiologie du sport et de l'exercice » 4^e édition De Boeck, Paris 2009; pp 281-298.
- [9]: COUDREUSE J.-M. et al. « Douleurs musculaires post-effort , Delayed onset muscle soreness » *Journal de Traumatologie du Sport* 24 (2007), pp: 103–110.
- [10]: Croiser J.L. et Codine P. « Exercice musculaire excentrique: Physiologie de la contraction musculaire excentrique S. PERREY », Collection pathologie locomotrice et médecine orthopédique, Éditions Elsevier-Masson (2009), pp: 1-4.
- [11]: DUPONT G. & BOSQUET L. « Méthodologie de l'entraînement » Ellipses, Paris 2007.
- [12]: DYKSTRA J.H. & Al. « Comparisons of cubed ice, crushed ice, and wetted ice on intramuscular and surface temperature changes », *Journal of athletic Training*, 2009;44(2):136-141.
- [13]: GEOFFROY C. « Les différents moyens de récupération après efforts » *Sport Med'*, avril 2001, n°131; pp 15-16.
- [14]: GUISSARD N. « L'étirement musculaire: mise au point »; *Revue de l'Éducation Physique*, vol.47, 2007.3; pp: 66-70.
- [15]: HAUSSWIRTH C. et al. « Réponses physiologiques liées à une immersion en eau froide et à une cryostimulation-cryothérapie en corps entier : effets sur la récupération après un exercice musculaire »; *Science & Sports* (2010) 25, pp: 121-131.

- [16]: HUBBARD T.J. & Col. « Does Cryothérapie hasten return to participation? A systematic Review », *Journal of Athletic Training* 2004;39(1), pp: 88-94.
- [17]: MALONE T. « Nerve Injury in Athletes Caused by Cryotherapy » *Journal of Athletic Training*, 27(3), 1992, pp: 235-237.
- [18]: MERRICK M.A.; KNIGHT K.L. & Al. « The effects of ice and compression wraps on intramuscular temperatures at various depths » *Journal of athletic training*, 1993,28(3):236-245.
- [19]: MIDDLETON P. & MONTERO C. « Annales de réadaptation et de médecine physique » 47 (2004), pp: 282–289.
- [20]: PEAKE J. et NOSAKA K. « Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans » *Exercise Immunol Review* 2005.
- [21]: PORRTMANS J.R. et BOISSEAU N. « Biochimie des activités physiques » De Boeck, Paris, 2004.
- [22]: QUEVAL I. « Axes de réflexion pour une lecture philosophique du dépassement de soi dans le sport de haut niveau », *Science et motricité* 2/2004 (n° 52), p. 45-82.
- [23]: RICE D. and Col. « effets of cryotherapy on arthrogenic muscle inhibition using an experimental model of knee swelling », *Arthritis & Rheumatism (Arthritis care & research)* Vol.61, No.6, 2009, pp 78-83.
- [24]: RICHÉ D. « guide nutritionnel des sports d'endurance », 2e édition, Vigot, Paris 2003. pp .
- [25]: RONZENBLAT M. et CLUZEAU C. « Place de la neurocryostimulation en traumatologie du sport », *J. Traumatol. Sport*; 2006, 23, pp: 52-55.
- [26]: SELLWOOD et Al. « Ice-water immersion and delayed-onset muscle soreness: a randomised controlled trial », *J Sports Med* 2007;41, pp:392–397.
- [27]: TORTORA et DERRICKSON,« Manuel d'anatomie et de physiologie humaines », de boeck, Paris 2009.
- [28]: VERDUCCI F. « Interval Cryotherapy Decreases Fatigue During Repeated Weight Lifting » *Journal of Athletic Training*, 2000; 35(4), pp: 422-426.
- [29]: WEINECK J.,« biologie du sport », collection sport+enseignement, Vigot, 1992.
- [30]: WILMORE J.H. & col. « physiologie du sport et de l'exercice » 4e éd., de boeck, 2009, pp 281-291.

SOURCE WEB:

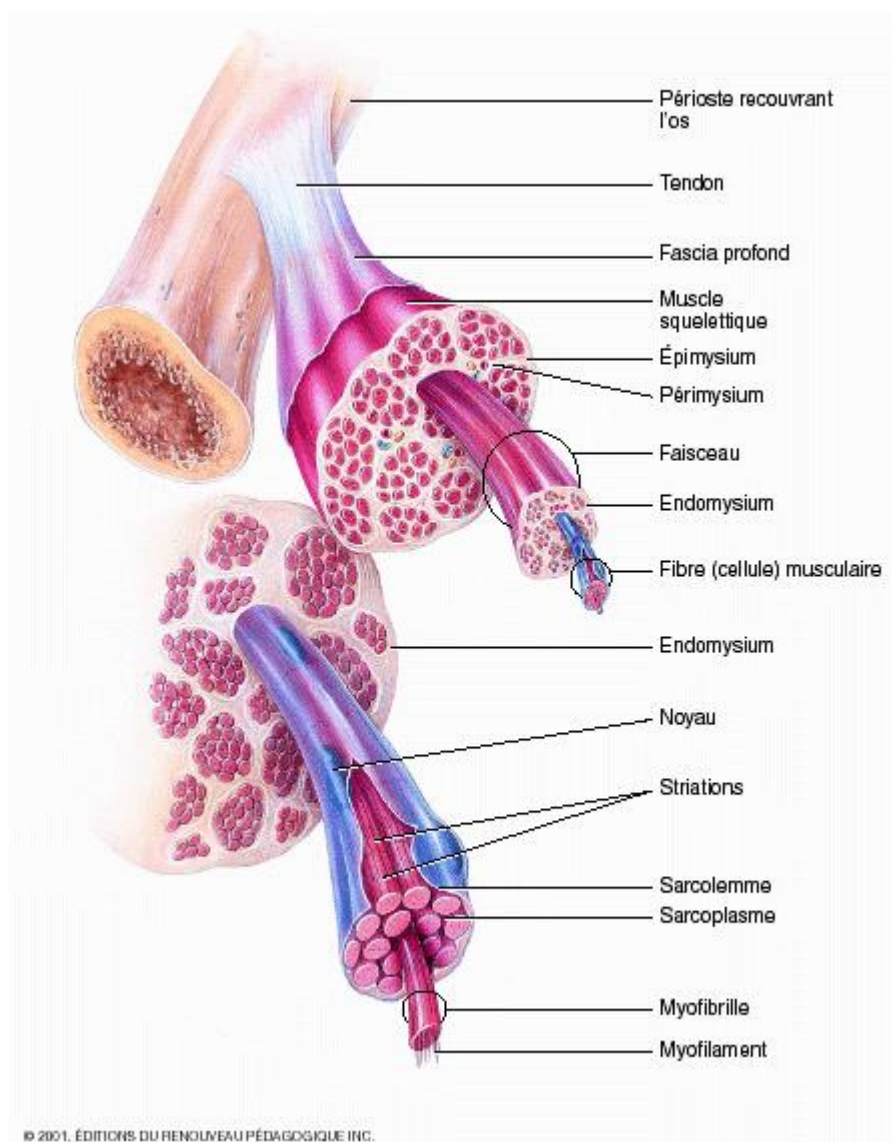
- [31]: <http://prevost.pascal.free.fr/images/tetanos.gif>
- [32]: www.foyerdemassequebec.com/Lesproprietesdesmateriaux.pdf, google « valeur conduction matériau » consulté le 5mars2011.

[33]: www.cnrs.fr , google « grandeur physique matériau » consulté le 5mars2011, mise à jour juillet 2004.

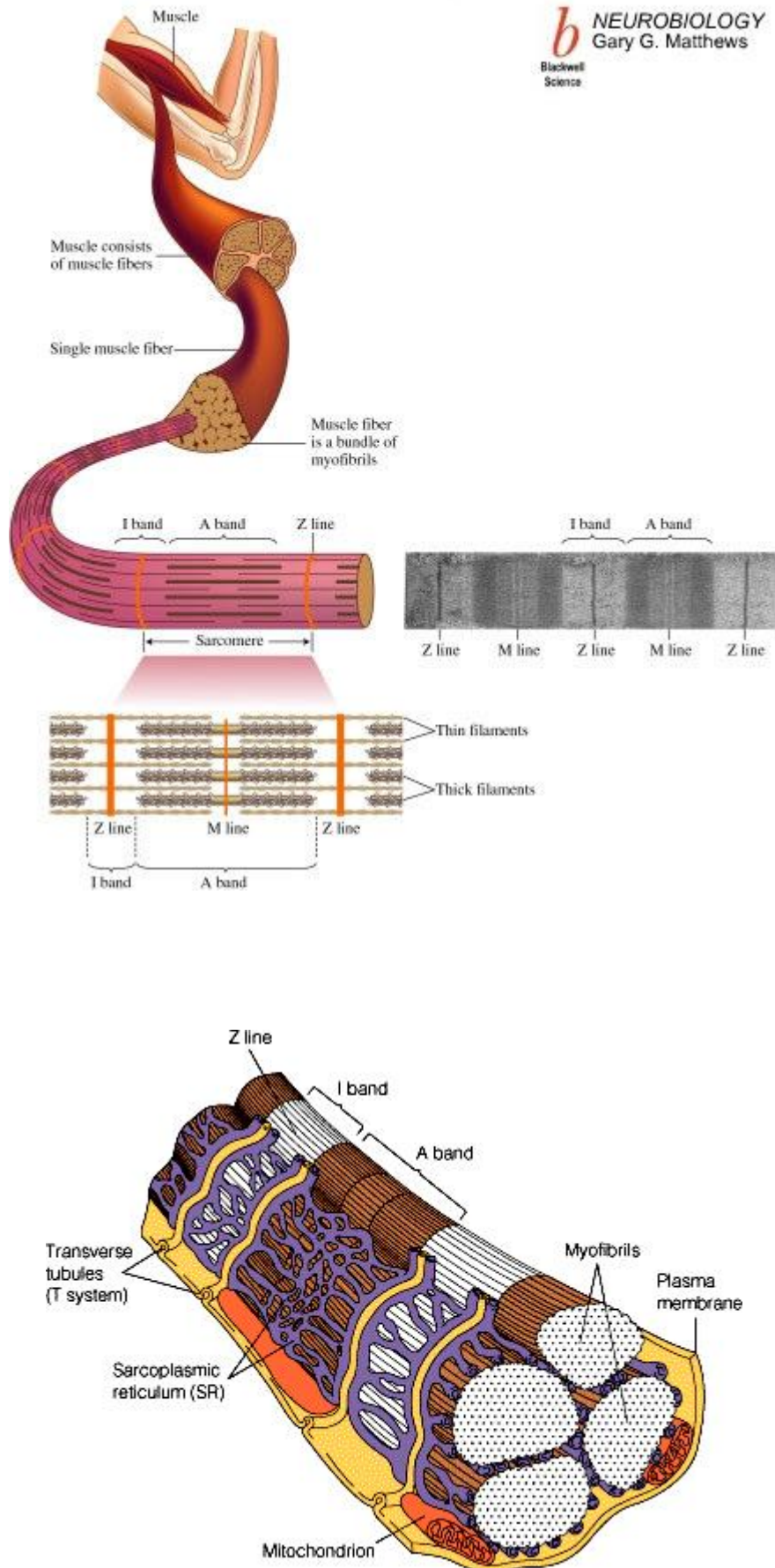
[34]: Copyright © 2010 International Association for Dance Medicine and Science (IADMS), Nadia Sefcovic, D.P.T., C.O.M.T. and Brenda Critchfield, M.S., A.T.C.

ANNEXES

ANNEXE 1: Anatomie du muscle strié squelettique (1).



ANNEXE 2; Anatomie du muscle strié squelettique (2).



ANNEXE 3: Processus de la contraction musculaire et couplage électromécanique.[27, 29]

La contraction est engendrée par un influx nerveux qui parvient à la fibre musculaire par une fibre nerveuse motrice au niveau de la plaque motrice. Les myofibrilles contiennent un réseau de citernes renfermant les ions calcium, appelé réticulum sarcoplasmique (RS). Des deux côtés des bandes Z, les RS côtoient les tubules T sans qu'il y ait pour autant de contact ou de passage direct de l'un à l'autre.

L'arrivée d'un potentiel d'action au niveau de la plaque motrice libère l'acétylcholine et génère une dépolarisation de la membrane du sarcolemme qui se propage jusque dans les tubules T. Il s'agit du potentiel d'action musculaire. Ceci provoque l'ouverture des canaux calciques présents dans la membrane du RS libérant les ions calciques dans le sarcoplasme. Les ions calcium remplissent quatre fonctions importantes:

1. Une fois dans le sarcoplasme ils se lient aux molécules de troponine contenues dans les myofilaments fins d'actine. La configuration du complexe troponine/tropomyosine change et libère le site de liaison de la myosine.
2. Les ions calcium activent l'enzyme ATPase des têtes de myosine, ce qui provoque l'hydrolyse de l'ATP et la libération d'énergie pour permettre les mouvements de traction des têtes de myosine sur l'actine.
3. Le calcium active d'autres enzymes qui régulent l'utilisation des réserves de glycogène dans la cellule musculaire, contribuant ainsi à la formation d'ATP.
4. La fin de la stimulation nerveuse stoppe la libération de calcium par le RS qui l'absorbe pour une grande partie, l'autre partie est dégradée. L'action des ions calcium sur les molécules de troponine est levée. C'est la relaxation musculaire.

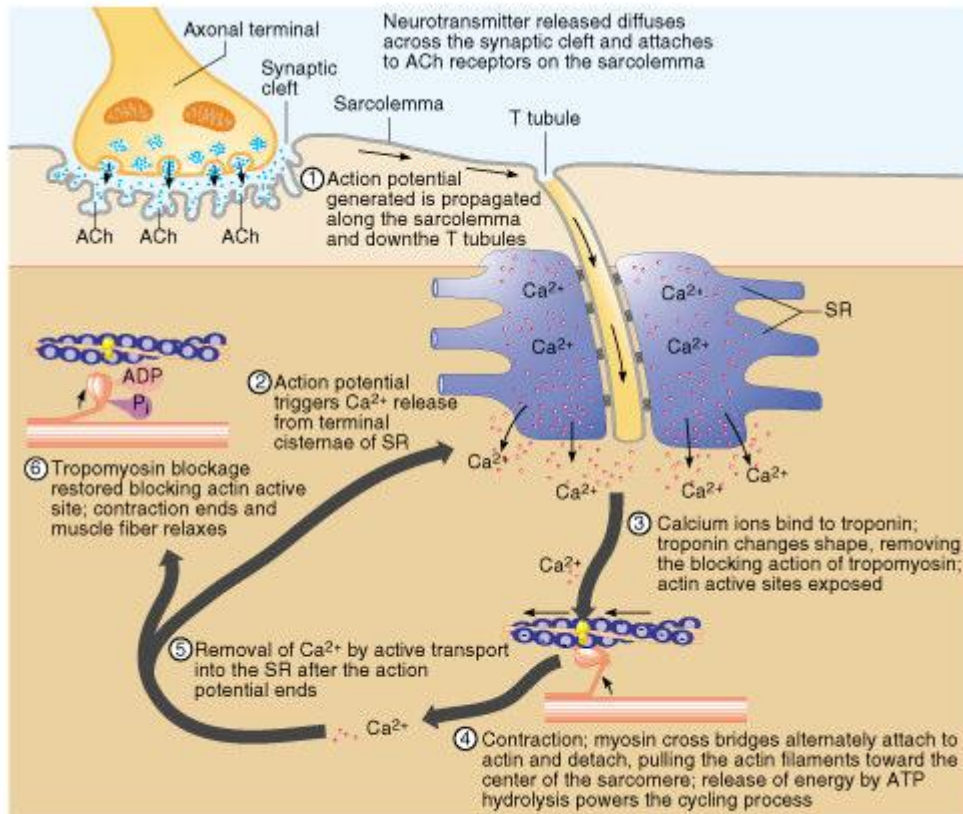
Les cycles de contractions se répètent tant que de l'ATP et des ions calcium sont disponibles dans le sarcoplasme. Il est important de noter qu'à un instant donné de la contraction certaines têtes de myosine sont liées à l'actine, formant un pont d'actine/myosine qui génère de la force, alors que d'autres sont libérées et sont ainsi prêtes à se fixer de nouveau.

Au cours d'une contraction maximale, le sarcomère peut réduire de moitié sa longueur de repos.

Durant une contraction l'ATP a deux rôles. Le premier est de fournir, par son hydrolyse, l'énergie nécessaire au déplacement du pont d'actine/myosine. Le second est de rompre le pont d'actine/myosine par sa fixation à la tête de myosine permettant ainsi un nouveau cycle.

Le relâchement musculaire est obtenu lorsque le message nerveux moteur cesse et que le potentiel d'action musculaire disparaît, le calcium est re-pompé dans le RS par un mécanisme actif.

Les sites actifs de troponine sont de nouveau masqués grâce aux complexes troponine/tropomyosine aux têtes de myosine.



Copyright © 2001 Benjamin Cummings, an imprint of Addison Wesley Longman, Inc.

Figure annexe 3: Rôles du calcium dans la physiologie musculaire.

ANNEXE 4 Physiologie de la contraction musculaire excentrique. [10]

L'action musculaire correspond à l'allongement d'un muscle préalablement activé. Elle permet une action freinatrice, d'amorti ou de ralentissement de la chute d'un segment de membre voire du corps entier, comme dans la locomotion.

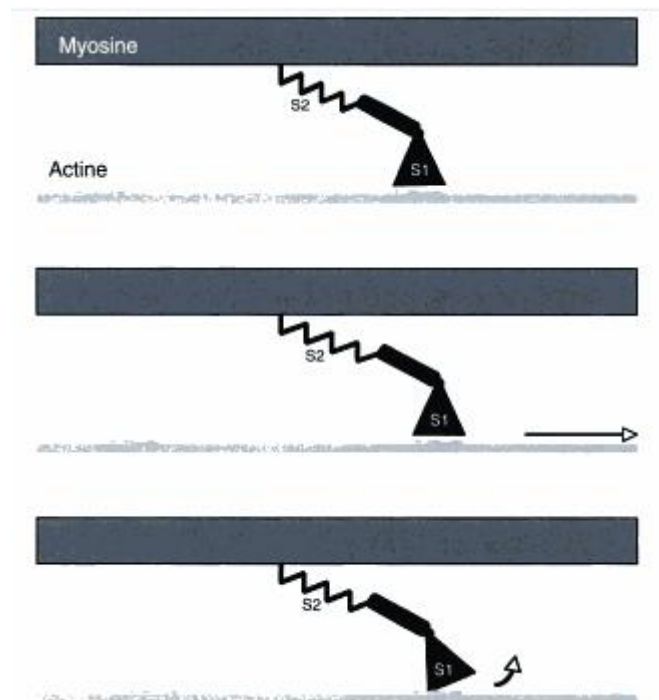
La contraction dynamique d'un muscle correspond à un processus comprenant une succession de cycles de glissement entre myofilaments fins d'actine et myofilaments épais de myosine précédemment décrits. Ceci met en jeu l'action des ponts transversaux d'actine et de myosine nommés « sites générateurs de force » par S. PERREY. Mais que se passe-t-il au niveau de ces sites générateurs de forces?

Le recrutement de ces sites au moment de la contraction excentrique augmente le nombre de ponts d'actine-myosine. Le mécanisme excentrique, à l'inverse du mécanisme concentrique, provoque un allongement des sarcomères. Le pivotement de la tête de myosine est alors ici difficile car la force extérieure s'y oppose. Quelques ponts transversaux vont pourtant réaliser un cycle à l'identique d'un cycle concentrique. Cependant pour une majorité cela ne se passe pas de cette manière. Alors que les têtes de myosine chargées en énergie à la suite de l'hydrolyse de l'ATP en ADP + Pi, les ponts transversaux vont s'opposer à cet allongement. La partie dite S2 de la tête s'allonge du fait de l'éloignement du site de liaison actine-myosine de la ligne M. Pour une partie l'élongation de la partie S2 de la tête sera telle que le site actine-myosine va se rompre de manière mécanique et non ADP-dépendant. La tête toujours chargée se lira à une nouvelle molécule d'actine, toujours sous l'action de la force exogène. Pour une autre partie le site d'actine-myosine résiste à l'allongement de la partie S2 de la tête, c'est cette résistance qui est à l'origine de la force excentrique.

Figure annexe 4: Modèle de la tête pivotante. La tête

de myosine peut se lier à l'actine dans différentes configurations. En haut, la position moyenne durant une contraction isométrique. Au centre, durant un étirement rapide l'élément S2 est étiré ce qui produit plus de force. En bas, suite à l'étirement très rapide l'élément S1 subit une rotation vers l'arrière ce qui détend l'élément S2.

D'après HUXLEY & SIMMONS.



“ *Classification des lésions musculaires selon Rodineau et Durey* ^[40] ”

- Stade 0 : atteinte réversible de la fibre musculaire sans atteinte du tissu de soutien ; récupération totale en quelques heures ;
- Stade 1 : atteinte irréversible de quelques fibres musculaires aboutissant à leur nécrose sans atteinte du tissu conjonctif de soutien ; récupération totale en quelques jours ;
- Stade 2 : atteinte irréversible d'un nombre réduit de fibres musculaires et atteinte minime du tissu conjonctif de soutien ; récupération qui peut être obtenue en une dizaine de jours ;
- Stade 3 : atteinte irréversible de nombreuses fibres musculaires, atteinte marquée du tissu conjonctif de soutien et formation d'un hématome intramusculaire localisé ; récupération en 4 à 12 semaines ;
- Stade 4 : rupture ou désinsertion musculaire complète ; récupération longue mais variable selon le muscle touché.

Figure annexe 5.

ANNEXE 6: Processus de récupération de l'inflammation musculaire secondaire à l'activité excentrique.[20]

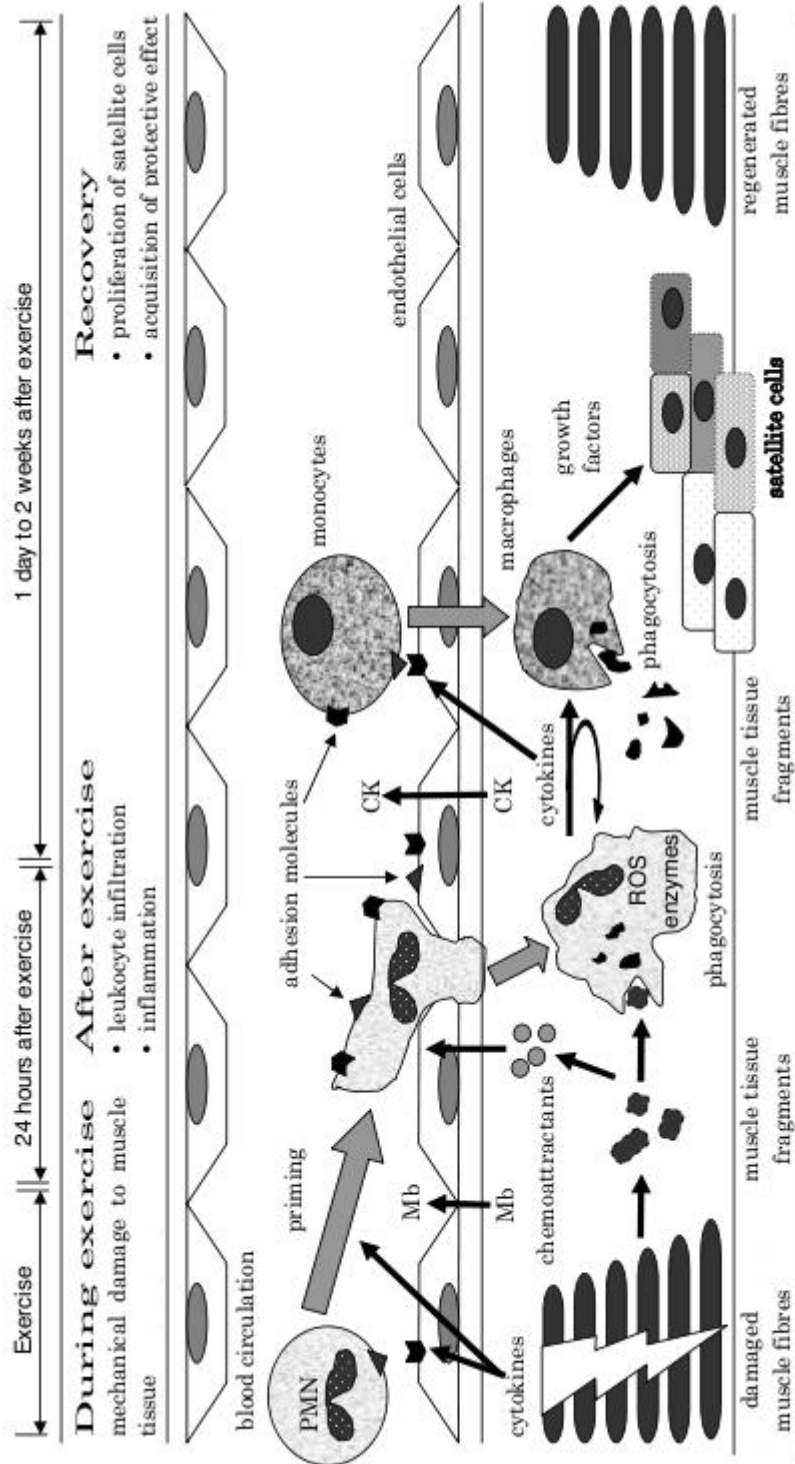


Figure 1. Exercise-induced muscle damage and subsequent muscle inflammation and regeneration process (PMN, polymorphonuclear leucocyte; Mb, myoglobin; CK, creatine kinase; ROS, reactive oxygen species)

ANNEXE 7: Information population

GROUPE TÉMOIN							
SUJET	SEXE	ÂGE	POIDS	TAILLE	IMC	H sport	RM
2	F	21 ans	51 Kg	1,59 m	20,17	2	118
4	M	22 ans	75 Kg	1,83 m	22,39	2	183
6	X M	21 ans	83 Kg	1,87 m	23,73	2	137
8	F	19 ans	49 Kg	1,55 m	20,39	2	155
10	X M	22 ans	68 Kg	1,72 m	22,98	1	129
12	M	21 ans	70 Kg	1,69 m	24,61	2	261
14	X M	20 ans	75 Kg	1,80 m	23,15	0	209

Le « X » indique les sujets défailants.

GROUPE TEST							
SUJET	SEXE	ÂGE	POIDS	TAILLE	IMC	H sport	RM
1	M	20 ans	75 Kg	1,75 m	24,49	4	214
3	F	26 ans	53 Kg	1,60 m	20,7	2	160
5	F	20 ans	57 Kg	1,68 m	20,19	1	115
7	M	20 ans	67 Kg	1,82 m	20,73	3	125
9	M	19 ans	65 Kg	1,70 m	22,49	0	181
11	F	20 ans	55 Kg	1,79 m	17,16	0	108
13	M	20 ans	73 Kg	1,78 m	23,04	3	273

ANNEXE 8: Présentation du matériel.

Le Myotest® :



Presse oblique Design Corporel® :



Vélo KETTLER® :



Vessie de glace BRUNET® 30cm:

ANNEXE 9: Tableau de BERGER.

Le tableau de BERGER permet d'établir le nombre de répétitions maximales (RM), en fonction de la force maximale.

NOMBRE DE RÉPÉTITIONS	POURCENTAGE DE LA 1 RM
1	100,00%
2	98,00%
3	95,00%
4	93,00%
5	90,00%
6	85,00%
7	83,00%
8	80,00%
9	78,00%
10	75,00%
11	71,00%
12	68,00%
13	65,00%
14	62,00%
15	60,00%
16	57,00%
17	55,00%
18	52,00%
19	49,00%
20	46,00%