

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Abdelhamid Ibn Badis, Mostaganem Institut
d'éducation physique et sportive



Thèse

Présentée en vue de l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences

Filière : Education physique et sportive

Spécialité : entraînement sportive

Présenté par :

Setaouti Mohamed Djamel Eddine

Effet de l'immersion en l'eau froid sur la récupération physique et la performance sportive chez les footballeurs.

SOUS LA DIRECTION :

- **PH KHIAT BELKACEM**
- **PH KASMI MOHAMED EL BACHIR**

Année Universitaire : 2023/2024

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

Mon père.

*En hommage aux efforts, ainsi qu'aux
Sacrifices qu'il n'a jamais cessé de consentir
Pour moi. Qu'il trouve dans le présent travail,
La mémoire du cœur, ma gratitude et ma
Profonde affection, que je ne saurais jamais
Comment les décrire.*

A

Ma mère

*Pour son affection et son amour. Je reste éternellement reconnaissant pour
toutes ces années d'amour.*

Mon épouse

Pour son soutien, ses encouragements, sa compréhension et surtout sa patience.

Mes Enfants

*Tous les enfants de notre chère Algérie, afin que les joies du sport ne les privent
jamais du plaisir de jouer.*

Mes frères et mes sœurs

A mes amis et collègues de travail

Département d'éducation physique et sportive de

*Oran et l'institut d'éducation physique et sportive de Mostaganem pour votre
aide et votre soutien. Veuillez croire à mon profond respect et ma grande
reconnaissance.*

*A tous les entraîneurs et tous les footballeurs qui ont participés de près ou de
loin à l'élaboration de ce travail.*

*A ceux qui œuvrent honnêtement, développement du
Mouvement Sportif national*

Remerciements

Cette thèse est le résultat de dynamiques d'interaction

Avec de nombreuses personnes sans lesquelles ce travail n'aurait pas pu aboutir. Particulièrement le

Professeur :

Khiat Belkacem, et Kasmi el Bachir mes directeurs de thèse

J'espère que ce manuscrit sera un remerciement à la hauteur de vos exigences, de votre investissement et de vos encouragements continus durant ce travail de thèse.

Aux membres de mon jury de thèse, Je tiens à les remercier pour le temps qu'ils ont pris à expertiser ce manuscrit.

Résumé

Nous avons examiné l'effet de l'exposition au froid lors de l'exercice physique et de la récupération sur des variables physiologiques et perceptives.

Par méta-analyse, nous avons démontré que :

1/ L'exposition au froid pendant l'exercice physique entraîne une amélioration des performances pour des exercices aérobies et anaérobies (la taille de l'effet varie en fonction de la technologie de refroidissement utilisée et de la partie du corps refroidie).

2/ L'utilisation de la cryothérapie/Cryo stimulation et de l'immersion en eau froide après une activité physique permet de diminuer les courbatures, la fatigue ressentie et les niveaux sanguins de signes de dommages musculaires et d'inflammation.

Les résultats de nos expériences démontrent que ;

L'immersion en eau froide pendant une activité physique intense améliore les sensations de confort thermique, d'humidité et de bien-être, tout en diminuant le stress physiologique (température cutanée réduite, retour plus rapide à la fréquence cardiaque normale, amélioration de l'oxygénation cérébrale).

Ce travail met en évidence l'efficacité de l'emploi du froid dans diverses situations d'activité physique et dans les processus de récupération ; On présente les mécanismes biologiques qui pourraient interagir dans ces processus de récupération.

Mots clés = récupération physique, eau froide, douleur, fatigue, inflammation, football.

Abstract

The impact of cold exposure in the context of physical exercise and recovery on physiological and perceptual variables was investigated.

We have highlighted, by meta-analysis, that:

- Exposure to cold during physical activity improves aerobic and anaerobic physical performance (effect sizes depending on the cooling technique and the cooled body area).**
- Using cryotherapy / cryostimulation and cold-water immersion following a physical activity reduces muscle soreness, perceived fatigue and blood concentrations of muscle damage and inflammatory markers.**

Our experimental work shows that:

- Wearing a cooling vest during a vigorous physical exercise improves perceptual responses such as thermal comfort and reduces physiological stress (reduced cutaneous temperature, faster return to resting heart rate, improvement of cerebral oxygenation).**
- A 3-min partial body cryotherapy exposure is an optimal time to improve the quality of sleep after training.**
- A 3-min whole body cryotherapy exposure improves the subjective (questionnaires) and objective (actimetry) sleep quality. The mechanisms related to this improvement seems to depend on the parasympathetic activity during deep sleep episodes.**

This work shows the effectiveness of the cooling uses in different contexts of physical activity and recovery processes. The biological mechanisms likely to interact in these recovery processes are presented.

Keywords: Cooling, recovery, pre-cooling, post-cooling, cryotherapy, cryostimulation, cold water immersion, cooling vest, pain, fatigue, inflammation, muscle damage, sleep quality

SOMMAIRE :

Résumé	1
Abstract	2
Introduction :.....	10
Problématique :.....	11
Hypothèse :.....	11
Objectifs de la recherche :	12
Chapitre 1	16
La fatigue et larécupération physique.....	16
1.1 Présentation :	17
1.2 LA FATIGUE :.....	17
1.3.2.2 La fatigue nerveuse.....	20
1.3.2.2.1 La fatigue écologique	21
1.3.2.3 La fatigue subjective :	21
1.3.3.1 La fatigue induite par un match de football :	22
1.3.3.2 L'épuisement causé par un entraînement augmentant les Dommages musculaires :	23
1.4 Intérêt de la récupération.....	25
1.6 Physiologie de la récupération :	25
1.7 Les techniques de la récupération :.....	26
1.7.1 La Cryothérapie :	28
1.7.1.1 Application locale ;.....	28
1.7.1.2 Ambiance thermique froide :	29
1.7.1.3 Cryothérapie en corps entier (CCE) :	29
1.7.2 Immersion en bain froid :	30
1.2 Mécanismes de la récupération par immersion eau froide :	30
Chapitre 2	34
2.1 Présentation :	35
2.2 La fréquence cardiaque :.....	35
2.2.1 Définition de la fréquence cardiaque :.....	37
2.2.2 La physiologie cardiovasculaire :	37
2.3.2.1 La révolution cardio-vasculaire :	38
2.3.2.2 Le contrôle de l'activité cardiaque :	38
2.3.3 La récupération de la fréquence cardiaque après l'effort :	40
2.4 La signification physiologique :	40
2.5 HRR et le sport :	41
2.6 la santé et H.R.R :	42
2.7 H.R.R – Applications pratiques :	43
Tableau 1. Indices de Ruffier et de Dickson. Tableau adapté deest-de-ruffier-dickson/.....	45
2.9 La tension :	47
2.9.1 La pression artérielle :	47
2.9.2 Variations de la pression artérielle :	48
2.10 Mécanismes de la récupération par immersion eaufroide :	49
Figure 4 : pression hydrostatique sur sujet immergé	50
2.11 Point actuel de la littérature :	52
2.12 Impact sur les marqueurs biologiques :	52
2.13 Impact sur la douleur :	53
2.14 Impact sur l'œdème post exercice :	54
2.15 Impact sur les facteurs forces et puissances :	54

2.16 Effet de la CWI sur la récupération de la performance :	56
2.17 Des dommages musculaires graves.	58
2.18 Les marques inflammatoires :	58
2.5.1 Cryothérapie :	58
2.5.2 Immersion en eau froide :	59
2.5.3.1 Les réactions biologiques à l'IEF :	59
2.5.3.2 Les réponses cardiaques :	59
2.5.3.1.2 Les réactions métaboliques :	60
2.5.3.3 Les réactions du système nerveux autonome :	61
2.5.3.3.4 Réactions immunes :	62
2.5.3.5 Synthèse :	63
2.5.3.3.6 Les considérations pratiques du IEF :	63
2.5.3.3.7 Les limites de l'utilisation du IEF :	64
Chapitre 3	67
3.1 Performance Sportive Et Foot Ball :	68
3.2 Influence potentielle des cinétiques de récupération :	70
3.2.1 La force initial :	70
3.2.2 Le niveau d'entraînement :	72
3.3 Le joueur et son expérience :	75
3.3.4 Age biologique :	76
3.3.5 Le rôle et les taches physiques dans le match :	79
3.3.6 Joueur est son role dans le matche :	80
3.3.7 Les circancance d'un match :	83
3.3.8 facteurs Psychologies :	84
3.3.9 Interaction entre perception de l'effort et douleurs :	85
3.4 les capacité et les Performances sportives :	86
3.5 Mécanisme de la contraction musculaire :	88
3.5.1 Classification des fibres musculaires :	90
3.5.2 Les différents modes de contraction :	91
Chapitre 4	92
4.1 Moyens et Méthodes :	97
4.2 Moyens humains :	97
4.2.1 Moyens matériels :	98
- 4.3 Les Méthode de recherches :	98
4.3.1 Méthode de tests pédagogiques :	98
-4.3.3 Analyses statistiques.	99
. 4.3.4 Protocol :	99
4.4 Déroulement de l'étude :	100
4.5 Organisation de la recherche :	101
4.6 Maitrise des variables :	101
4.7 Test d'homogénéité (test student) :	102
Chapitre 5	104
5.1 PRESENTATIONET DISCUSSION DES RESULTATS :	105
5.2 Résultats :	105
5.3 Présentation du test d'homogénéité et de la fiabilité :	106
5.4 Interprétation :	106
5.5 Interprétation	107
5.6 Résultats du groupe IEF: avant vs après immersion :	108
5.3.1 Interprétation	110

5.3.2 <i>Discussion des résultats</i> :	111
<i>Conclusion</i> :	114
6.1 EFFETS GENERAUX DU FROID :	116
6.2.2 impacte cardio-vasculaire :.....	116
6.2.3 impacte cardiaque :.....	116
6.2.4 Effet vasculaire :.....	119
6.2.5 impacte sur l'exercice :.....	119
6.2.6 <i>Efforts maximaux</i> :	119
6.2.7 Effet sur les lactates :.....	122

Liste des abréviations :

DOMS : Douleurs musculaires à apparition retardée, ‘Delayed Onset Muscle Soreness’

Tair : Température ambiante.

Tsk : Température cutanée. **Tc** : Température centrale. **T** : Température corporelle **Q** : Débit cardiaque.

FS : Flux sanguin.

PVC : Pression veineuse centrale.

ACLS : Soins Spécialisés en Réanimation Cardio-Pulmonaire, ‘Advanced Life Cardiac Life Support’.

CM : Contre-la-montre.

MVC : Contraction maximale volontaire.

NH3: Ammoniac.

ATP: Adénosine triphosphate.

PCr : Phosphocréatine.

PaCO₂ : Pression artérielle de dioxyde de carbone.

RPE : Perception de la difficulté de l’effort.

EEG : Activité électrique cérébrale. **ECG** : Activité électrique cardiaque. **EMG** : Activité électrique musculaire. **CNS** : Système nerveux central.

Tair : Température ambiante.

Tsk : Température cutanée. **Tc** : Température centrale. **T** : Température corporelle **Q** : Débit cardiaque.

FS : Flux sanguin.

RTX : Dispositif de refroidissement de la main.

V̇ O_{2max} : Consommation maximale d’oxygène.

PRM : Mémoire de reconnaissance visuelle

PVC : Pression veineuse centrale.

ACLS : Soins Spécialisés en Réanimation Cardio-Pulmonaire, ‘Advanced Life Cardiac Life Support’.

CK : Créatine Kinase.

LDH : Lactate Déshydrogénase. **CWI** : Immersion en eau froide. **CE** : cryothérapie corps entier. **CP** : Cryothérapie corps partiel.

IASP : Association internationale de l’étude de la douleur.

CRP : Protéine C-réactive. **PAS** : Récupération passive. **VSC** : Volume sanguin central.

VES : Volume d'éjection systolique.

VFC : Variabilité de la fréquence cardiaque.

FC : fréquence cardiaque

HRmean : Fréquence cardiaque moyenne

THB : Hémoglobine totale.

HB-Diff : Différence entre O₂HB et HHB.

TSI : Indice de saturation de l'oxygénation tissulaire.

APTS-P5 : Système avancé de thermorégulation personnelle Mawashi.

VMA : Vitesse Maximale Aérobie.

VAS : Visual Analog Scale.

SMD : Différence moyenne standardisée

Listes des tableaux :

	Titre	Page
Tableau 1	Evolution du niveau de force immédiatement après un match de football	p12
Tableau 2	Evolution du niveau de force après un exercice inducteur de dommages musculaires	p15
Tableau 3	Indices de Ruffié et de Dickson. Tableau adapté de Est-de-Ruffieu-Dickson	p 37
Tableau 4	Exercices simulant un sport collectif	p45
Tableau 5	Tableau récapitulatif de la force isométrique (en kg) des extenseurs et fléchisseurs de genou, avant puis 48h après exercice.	p 56
Tableau 6	Synthèse des différents types de fibres musculaires d'après Rieu	p79
Tableau 07	Caractéristiques des footballeurs répartis en deux groupes	p84
Le tableau 08	expose les données anthropométriques et les postes occupés par les footballeurs. Les deux groupes ont été appariés pour l'âge, la taille et le poids	p92
Tableau N°09	Récapitulatif de l'homogénéité des groupes en taille et en poids	
Tableau N°10	Récapitulatif de la fiabilité des tests	p93
Tableau N°11	Récapitulatif du premier et du deuxième test chez le groupe A IEF	p96
Tableau N°12	Récapitulatif du premier et du deuxième test chez le groupe B	p97

Liste des figures :

	Titre	page
Figure 1	pression hydrostatique sur sujet immergé	P24
Figure 2	HRR et la santé	P34
Figure 3	Estimations du risque relatif des décès selon la H	P36
Figure 4	Un tension mètre	P39
Figure 5	pression hydrostatique sur sujet immergé	///
Figure 6	Différence de performance lors de squat jump avant et après exercice suivi d'une récupération (PAS : passive, CWI : immersion eau froide). Exprimé en pourcentage. Vaile et al	p46
Figure 7	Résumé des réponses physiologiques au IEF	P 54
Figure 8	Représentation graphique de l'évolution du ratio charge aigüe : charge chronique chez un joueur de foot Ball D'après Blanch et Gabbett (2015)	P82
Figure 9	l'amélioration des performances	P83
Figure 10	Mécanisme de la contraction musculaire	P48
Figure 11	Cardio fréquence mètre	P91
Figure 12	Les différentes phases du déroulement de l'étude	///
Figure 13	Résultats du ressenti physique général	P96
Figure 14	Ressenti physique général avant et après immersion	P97
Figure 15	Histogramme représentante premier et le deuxième test chez le groupe A	p 97
Figure 16	Histogramme du 1er et 2 -ème test chez le groupe B	P99
Figure 17	La Fatigue Physique	P100

Introduction :

La performance en football dépend de plusieurs facteurs, dont la bonne récupération, et la récupération physique est un facteur clé de la performance, selon les méthodes modernes d'entraînement.

Actuellement le monde sportif a considérablement progressé dans le domaine de la programmation des charges d'entraînement, cependant les modalités de récupération sont souvent laissées à la charge de l'athlète et leur absence régulière dans l'entraînement amène progressivement l'athlète dans le secteur de la surcharge (Sami, 2020). La récupération physique peut être estimée à partir de rythme cardiaque, si le retour à la fréquence cardiaque de repos est rapide et régulier la récupération physique est satisfaisante, il faut retenir que la récupération physique s'améliore lorsque le coefficient de récupération augmente, depuis des années différentes études ont été mises sur la possibilité pour un athlète de mieux récupérer, l'accélération de la récupération permet à certains de pouvoir continuer à s'entraîner ou à maintenir un état compétitif stable, relié à cela il y a une apparition depuis quelques années de modalités de récupération comme l'immersion en eau froide ; le but de cette recherche est d'examiner l'efficacité de cette modalité de récupération. L'immersion en eau froide a d'abord été proposée à des fins thérapeutiques, en 1990, avant d'être utilisée comme méthode de récupération après un exercice physique. Pour optimiser la récupération des sportifs, l'objectif final est de réduire les temps de récupération totale entre les matchs.

La diminution de la performance est causée par trois réactions principales au niveau métabolique.

En fonction du pH, l'acide lactique se transforme en lactate et en ions

hydrogènes (H^+) Le pH diminue en raison de l'accumulation des ions hydrogènes. Ce sera l'inhibition de la glycolyse. P210, Boufaden Otman, 2020. Les microlésions musculaires ont une origine métabolique (activation des protéases et des phospholipases, insuffisance de la respiration mitochondriale) ou mécanique (travail excentrique, microtraumatismes) L'inflammation augmente la température par l'effet de l'interleukine 1 sur l'hypothalamus, et la pression intramusculaire par la présence d'œdème.

L'augmentation de la consommation d'oxygène lors de l'exercice entraîne une augmentation de la production de radicaux libres. Les espèces radicales sont des éléments chimiques très réactifs. Ils produiront une oxydation de plusieurs éléments cellulaires qui perturberont le fonctionnement de la cellule.

Problématique :

La structure de l'entraînement est perturbée par une récupération excessive ou insuffisante. Elle devient alors un facteur de surentraînement ou de désentraînement.

Deux obligations principales doivent être remplies par le mode de récupération installé. Assurer la restauration de la capacité de travail après les charges et permettre également la répétition (den, 2006)

Il est connu depuis longtemps que pour remédier à l'inflammation rabaissement de la peau.

En tant que moyen de récupération et de traumatisme, la température est un moyen efficace (Haddad 2010) Il s'est produit récemment une autre méthode de récupération : l'immersion en eau froide.

- Quelle méthode est la plus efficace pour nous footballeurs ? Passive ou IEF ?
- Comment influe-t-il sur les performances et la récupération physique.

Hypothèse :

Plusieurs modalités de récupération peuvent être utilisées par le sportif pour diminuer la

durée nécessaire pour retrouver, après un entraînement ou une compétition, le niveau de performance initial. Elles comprennent la récupération active, les étirements, l'électrostimulation. Cependant, sur le plan scientifique, certaines techniques sont encore très controversées. Les massages, l'immersion dans l'eau froide ou en bains contrastés, la compression, la relaxation, la Cryo stimulation, l'oxygénothérapie... La liste des méthodes de récupération à la disposition du sportif n'est évidemment pas exhaustive (HANSSON, 2008)

Objectifs de la recherche :

Le but de la récupération est d'améliorer la performance motrice en réduisant le temps nécessaire à la restauration des capacités fonctionnelles des muscles sollicités. Il est particulièrement important de prendre en compte cela lors d'une utilisation en cours ou après une phase d'effort.

Ce travail vise à recenser les techniques de récupération existantes et à mieux comprendre les mécanismes de deux techniques spécifiques : la modalité passive et l'immersion en eau froide. Notre recherche a plusieurs objectifs à l'horizon dont le premier est présenté ci-dessous : les effets d'immersion en eau froide sur la récupération physique et la performance sportive chez le footballeur de haut niveau. L'étude vise à étudier et voir l'efficacité de la récupération musculaire par immersion en eau froide.

- Étudier l'impact de ce modèle de récupération sur un certain indicateur de performance,
- Référence pour l'évaluation physique du joueur de football algérien.

Il y a quatre fois plus d'informations scientifiques utiles sur le plan théorique ou pratique de la pratique sportive moderne de haut niveau.

Contribue à la liste des techniques de récupération existantes et à la compréhension des mécanismes de deux techniques particulières : la modalité passive et l'immersion en eau froide. KENTA, 2002) La période repos est la durée pendant laquelle les différents paramètres physiologiques altérés par l'activité physique sont redevenus à des valeurs normales. Tel qu'il est décrit (Guezenec, 2013, p.57)

La I EE F(4-15°C) : Elle entraîne une vasoconstriction locale et une réduction de la conduction nerveuse associée à une baisse de la fréquence cardiaque. Son objectif est de diminuer les ecchymoses et les œdèmes, de soigner les lésions aiguës musculaires, les douleurs musculaires, les tendinopathies, les microtraumatismes musculaires et les poussées arthrosiques. L'effet antalgique est également recherché.

La performance ; La réalisation de est déterminée par de nombreux facteurs qui font appel à des capacités. Elles sont d'ordre technique, physique (vitesse, force, endurance, souplesse, coordination), psychique (motivation), tactiques, cognitives, constitutionnelles et environnementales. Un contrôle et une amélioration de tous ces facteurs contribuent à la performance sportive. Ibrahim, 2011 (p31)

Des études ont été réalisées sur les effets du refroidissement de plusieurs parties du corps sur la performance. L'étude d'Amorim et al. nous a permis de constater cela. En 2010, le refroidissement des paumes De main par un système d'échange thermique rapide n'était pas suffisant pour retarder l'hyperthermie lors d'une course sur tapis de course. En 2005, Hsu et al. ont observé une diminution plus rapide de la température tympanique, de la concentration de lactate sanguin et de la VO₂.

Lors d'un test sous maximal et réduisait le temps de course pour un exercice de cyclisme de 30 km/h. De même que l'étude de Grahn et *al.* En 2005 montrait que ce dispositif permettait de ralentir l'augmentation de la température œsophagienne lors d'un exercice de marche sur tapis dans un environnement chaud (40°C). La durée de l'exercice était également augmentée.

Une étude de l'influence de jambières refroidissantes placées sur les cuisses lors d'une succession de deux exercices de contre la montre sur ergocycle a été menée par De Pauw et *al.* En 2011 Ceux-ci n'ont pas trouvé de différences significatives sur la performance pour une comparaison

Un refroidissement de la tête et de la nuque lors d'en effort.

Diverses études des effets du refroidissement de plusieurs parties du corps sur la performance ont été menées. Ainsi nous avons pu voir dans l'étude d'Amorim et *al.* En 2010 que le refroidissement des paumes De main à l'aide d'un dispositif d'échange thermique rapide ne permettait pas de retarder la manifestation de l'hyperthermie lors d'un exercice de course sur tapis de course. A contrario une étude de Hsu et *al.* En 2005 diminuait plus rapidement la température tympanique, la concentration de lactate sanguin, la VO₂

Lors d'un test sous maximal et réduisait le temps de course pour un exercice de cyclisme de 30 km/h. De même que l'étude de Grahn et *al.* en 2005 montrait que ce dispositif permettait de ralentir l'augmentation de la température œsophagienne lors d'un exercice de marche sur tapis dans un environnement chaud (40°C). La durée de l'exercice était également augmentée.

Une étude de l'influence de jambières refroidissantes placées sur les cuisses lors d'une succession de deux exercices de contre la montre sur ergocycle a été menée par De Pauw et *al.* En 2011 Ceux-ci n'ont pas trouvé de différences significatives sur la performance pour une comparaison

Un refroidissement de la tête et de la nuque lors d'en effort de 45 minutes en course à pied à 21°C a été étudié par Gordon et *al.* L'étude a démontré que ce système de refroidissement permettait d'induire une réduction du stress thermique liée à la chaleur

lors de l'effort.

La récupération active seule était sensiblement plus efficace sur le plan de la performance que la récupération active doublée d'un refroidissement des jambes à 0°C avec le port de bas de compression.

La récupération physique du foot balleur moudiate saïda et l'étude Nagal Mohamed 2018 ont établi que la récupération active seule était sensiblement plus efficace sur la performance que la récupération passive. L'ensemble des recherches a démontré que ces méthodes pouvaient contribuer à diminuer les pertes de force et de puissance constatées après des entraînements intenses, à soulager les douleurs articulaires et à diminuer la fatigue. En outre, l'immersion en eau froide permettrait de réduire les dommages causés aux muscles et aux tendons.

Chapitre 1

La fatigue et
la récupération
physique

1.1 Présentation :

Les **approches** modernes d'**entraînement** **mettent l'accent sur** la condition physique qui doit **être mise** au service de la technique pour **jouer un** football de **haut** niveau (RACHID, 2020), la performance en football est **le résultat** de plusieurs facteurs **dont un** facteur **important** est la récupération physique (gazzi, 2001) **Il y a** plusieurs moyens de se fatiguer par l'exercice, **qu'ils soient centraux** ou **périphériques**.

L'**origine** actuelle de la fatigue serait une **panne** de toute la chaîne avec une **rupture simultanée** des différents maillons.

1.2 LA FATIGUE :

Chennaoui et ses coll. **La fatigue est définie par** (2004) (22) comme un état **résultant d'une entrave physiologique et psychologique** qui **limite l'exécution de** fonctions physiques. et **intellectuelles**. Edwards (1983) (29) la **décrit** comme **étant d'**origine multifactorielle et se **manifestant** par l'incapacité à **supporter** un effort maximal ou **attendu**. La fatigue **intéressant** les **athlètes** est la fatigue aiguë **chez les personnes saines, à cause identifiable** (exercice physique) et **considérée** comme normale. **Celle-ci** est donc réversible et disparaît avec le repos **adéquat**, ce qui permet de la **différencier** de celle **causée par les lésions** musculaires. **Il existe** plusieurs **façons** de **s'épuiser** par l'exercice car elle peut **être** de deux **ordres : central** ou périphérique. La fatigue centrale **se rapporte aux** dysfonctionnements neuronaux et donc **à la modification** du système nerveux. La fatigue périphérique **est** la fatigue **des muscles** et donc du système musculo-tendineux. **Le** système énergétique (ATP-PCr, la glycolyse et le système oxydatif), l'accumulation de sous-**méthanites** **tels que** le lactate et les ions H⁺, **ainsi que** l'altération des mécanismes contractiles **sont les principaux phénomènes à l'origine de cette fatigue périphérique**.

Les causes de la fatigue sont multiples et peuvent coexister et agir en synergie (cérébral, neuromusculaire, musculaire, cardio-respiratoire,

psychique) Les mécanismes de la fatigue sont fonction du type et de l'intensité de l'exercice, du type de fibres employées, du degré d'entraînement du sujet et de son régime alimentaire. Il reste donc de nombreuses questions à résoudre. La protection de la santé pourrait être assurée par la fatigue (AtlanG.2016) En signalant un état de stress réduit qui initialise les capacités fonctionnelles, elle avertit l'individu de la nécessité de se rétablir. Cette stimulation de l'organisme à s'adapter aux stress subis est faiblement liée au dépassement de ses capacités de récupération (Budgett 1998) La réflexion sur la récupération éviterait ainsi une accumulation chronique de fatigue et donc de surentraînement. L'association négative entre la quantité de fatigue causée par l'entraînement et la capacité du corps à récupérer est définie par Petit- bois et al. en 2001. Scherrer (1967) définit la fatigue comme une diminution d'activité d'un système vivant, pour une incitation continue, liée à l'activité de ce mécanisme et pouvant être inversée par son arrêt temporaire. Fatigue : Un organe, une cellule, un tissu, un corps. Le fonctionnement excessif du système vivant est le plus fréquent. La fatigue peut se traduire par une plainte (la fatigue se dit), ou par des signes observés (la fatigue se voit), et donc quantifiables (verkcoulen et coll) 1997), en utilisant la FSS pour la Fatigue Pattern Scale (SCHWART 1993) Comme pour tout signe susceptible d'être une plainte (mémoire, sommeil.), il s'agira de faire le lien entre cette plainte et des signes objectifs et surtout à une entité nosographique, chapitre particulièrement délicat et très limité dans le cas de la fatigue. Cela s'explique en partie par la nature amphibologique du mot fatigue, tantôt phénomène normal et physiologique, tantôt état pathologique, alors appelé asthénie. En général, la fatigue se caractérise par l'incapacité à maintenir un degré de compression musculaire (pedroletti 1997) Le titlist de définition englobe l'activité musculaire et les activités psychosensorielles : le plod, l'activité sportive, la vie sociale, et bien entendu, la pédagogie et l'enseignement. L'ordre, le vieillissement, l'usure, l'altération de la structure et l'épuisement sont les sens médicaux les plus souvent attribués à la fatigue. Le physiologiste considère la fatigue comme une extension du régime de notice qui, pour tout organe, correspond au niveau minimal d'activité sans limite de temps (maximum activité) en lien avec les caractéristiques générales du régime de croisière (exercice prolongé sans fatigue) et du régime de crête (activité maximale pendant une période très courte) Il est possible de passer d'un régime

à l'autre en utilisant des mécanismes de compensation qui ajoutent l'incitation. La fatigue qui annonce la défaillance du système est bien connue pour l'activité maximale (waterfall de la force maximale, tremblements, incoordination motrice.) et les activités psychosensorielles (addition du nombre d'erreurs, révision de l'activité électrique centrale. Par exemple, dans le skeleton d'un essai clinique randomisé en double aveugle comparant l'effet de trois hypnotiques sur les fonctions cognitives et la vigilance d'un volontaire sain jeune, en suivant le groupe placebo, nous avons montré que la fatigue privée était associée à une dépression brève des capacités cognitives à minuit, avant de revenir à des valeurs normales à 7 h du matin. Ces propos permettent d'en déduire que la fatigue, en termes médicaux, se situe aux limites d'états particuliers (stress, vieillissement, disquiet des rythmes.), de maladies (organiques ou psychiatriques), de fonctionnements cognitifs (provocation, apprentissage, mémorisation, processus de renforcement (plaisir) Cette constatation laisse d'emblée entendre qu'il sera difficile de trouver un dénominateur biologique commun à la fatigue et que la pharmacologie ne sera pas papas univoque. Des essais d'explication de la conception sont en cours. Le pattern d'épuisement du skeleton dynamique et le pattern de fatigue chronique ont été identifiés Au milieu des années 1980

ou Aujourd'hui, la SFC est l'objet de discussions âpres dans la littérature médicale, qui s'opposent aux tenants d'une pathologie nouvelle et aux concurrents de la réalité du pattern. Cowgirl C 1997) souligne que le recensement des compliances et des certificats psychiatriques au XIXe siècle réalisé par Haustgen 1985 ne permet pas aux papas de comprendre le mot "freud" dans l'ensemble de l'ouvrage LES FORMES ET LES CAUSES. L'épuisement des réserves énergétiques des cellules musculaires contractiles est habituellement accompagné d'une acidose. L'achromatisme des mécanismes de transport d'oxygène et toute insuffisance circulatoire à ces niveaux aggravent le déséquilibre entre l'offre et la demande. Cette fatigue est normale (athlète, force brute) ; l'entrée dans la pathologie (fatigue pathologique) se manifeste par des courbatures, des crampes (douleur enrichissant le concept) et surtout s'inscrit dans une physiopathologie telle l'artérite (insuffisance cardiaque) ou maladie de Parkinson (altération des mitochondries des cellules musculaires) SCHULMAN LM, et coll. 1996 (FR Fatigue musculaire Origine. L'objectif n'est pas, papas, de décrire exactement la

physiologie du muscle squelettique, mais d'expliquer les causes de la fatigue musculaire. Une épreuve constitution consiste en la réalisation de condensations musculaires qui, elles-mêmes, impliquent le recrutement (à travers les unités motrices) de fibres musculaires de type I ou de type II. Chaque fibre contient des milliers de sarcomères. L'hydrolyse de l'adénosine triphosphate (ATP) permet le glissement des fibres d'actine sur les fibres de myosine, ce qui favorise le raccourcissement du sarcomère et la compression concentrique à l'échelle du muscle. Trois voies de régénération de l'ATP seront mises en place.

- Voie anaérobie alactique : phosphate + ADP = ATP + créatine.
- Voie lactique anaérobie (source de glucose et synthèse d'ATP et d'acide lactique)
- Voie anaérobie (carburant : glucose, acide pyruvique, acides gras, acides aminés et oxygène)

L'homéostasie musculaire est modifiée par la consommation des substrats et l'émergence des produits du catabolisme dans les filières de restauration. Les symptômes de fatigue apparaîtront en même temps que les contraintes mécaniques de l'exercice.

- L'acidose est une diminution du pH physiologique en dessous de 7,38 (norme entre 7,38 et 7,42) Réduction du pH en raison d'un excès de lactate et d'ions H
- Les microlésions peuvent être d'origine métabolique (activation protéasique et phospholypase par insuffisance de respiration mitochondriale) ou mécanique (exercice excentrique par exemple)

Ces microlésions vont fournir des agents inflammatoires (bradykinine, prostaglandine, etc.) et provoquer une montée de la température et un œdème entraînant une augmentation de la pression intramusculaire. Ces processus inflammatoires sont responsables des douleurs « d'apparition retardée » ou DOMS (Delayed Onset Muscle Soreness) ou « courbatures » dans la langue commune.

1.3.2.2 La fatigue nerveuse

Il s'agit avant tout d'une éclaboussure mentale ou psychosensorielle. Elle se confirme par un illusion de retenir l'organisation chinoise sans se plaindre depuis les erreurs et

immédiatement les deletions. Il est orienté mangeable pourquoi cette exténuation soit liée à une dépression immédiatement fonctions comme l'alerte, l'attention prolongée, le classement entre plod, la réputation procédurale soit entre un ajout depuis seuils à acuité depuis organes sensoriels. Quel est l'avis particulier d'une dépression incontinent capacités cognitives, peut être comparé chez aussitôt généralités principalement courantes telles que combien la dépression auditive une dépression provisoiredel'acuité auditive immédiatement un étalage au crissement ? et l'ennui visuel sans l'archipel, pour les utilisateurs qui ont trop d'écrans par perche d'ordinateurs.

1.3.2.2.1 La fatigue écologique

La fatigue résulte de l'interférence entre les rythmes biologiques et sociaux imposés par la nature et la société. Cette fatigue provoque une sensibilité accrue à la fatigue musculaire et nerveuse et une tendance à l'évitement de la vie sociale. La fatigue au sein d'un groupe ou d'une population pourrait être prise en compte lors de situations d'effort collectif prolongées, voire de perte de motivation collective.

Une pathologie organique sous-jacente, en particulier endocrinienne (insuffisances surrénales, thyroïdienne, Maladie de Cushing), neuromusculaire (maladie de Mac-Ardle, myasthénie, myopathie), explique souvent la fatigue associée à la sclérose en plaques. 87,7% des patients la ressentent régulièrement.

1.3.2.3 La fatigue subjective :

C'est donc avant tout une sensation éprouvée par les sujets, soit au cours de l'activité, soit après son terme. Cette fatigue subjective peut être masquée par la mobilisation d'attentions, par une autre sensation (faim, soif, peur...) ou par des médicaments ou psychotropes (MARSHALL PS 1997)

Plusieurs modèles ont permis de comprendre le phénomène de la fatigue à l'effort par d'autres auteurs. Selon ces modèles, il existe une relation de cause à effet entre la perturbation de l'homéostasie d'un système physiologique spécifique et la fatigue. Plus l'homéostasie d'un système est altérée, moins le système est efficace et plus la fatigue est grande

.1.3.3 Fatigue induite par un match de football et un exercice inducteur de dommages musculaires :

La littérature a développé de nombreuses définitions de la fatigue. Elle peut découler de l'activité physique et se manifeste par une réduction de la capacité neuromusculaire à générer de la force, constatée lors d'un effort soutenu (Bigland-Ritchie et al., 1983) La fatigue peut aussi se manifester par une diminution de la force produite après l'activité physique, qui peut être atténuée par le repos Edwards (1983) suggère que la fatigue causée par la participation à un match peut se dissiper après une période de récupération.

La fatigue peut se manifester à court terme, comme après un sprint lors d'un match (Mohr et al., 2003), ainsi qu'à long terme, y compris les jours suivant le match (Mohr et al., 2003) Ce sport se compose d'actions entre haute et faible intensité (Mohr et al., 2003; Bradley et al., 2009), le temps passé à des

intensités plus basses (90 %) est plus dominant que les intensités plus élevées (10 %) (Mohr et al., 2003; Bradley et al., 2009) Les mouvements d'un match comprennent des accélérations, des variations de direction, des sauts ; des contacts avec le ballon et les adversaires, tacles, frappes et passes (Rahnama et al., 2002)

Dommages musculaires (Clarckson et Hubal, 2002; Byrne et al., 2004; Tee et al., 2007), caractérisés par une diminution temporaire de la fonction neuromusculaire et parfois des douleurs musculaires, avec libération de protéines intramusculaires dans le sang (Howatson et Van Someren, 2008), sont responsables de la fatigue.

D'après plusieurs études ; la fatigue est causée par la participation à un match, ce qui entraîne une diminution de la performance. On peut mesurer cette baisse de performance par des indicateurs comme la force maximale volontaire des muscles et leur activation volontaire, qui ont diminué après un match

La capacité à récupérer ou dépasser sa performance initiale après une activité donnée est essentielle, surtout dans un contexte où les joueurs doivent s'engager dans plusieurs matches par semaine. Il est crucial de gérer correctement la période de récupération entre les matches. La récupération peut être immédiate, à court terme ou à long terme en fonction des laps de temps entre les efforts, avec comme objectif ultime un retour à la performance initiale (Bishop et al., 2008)

Toutefois, il est difficile de comparer les réponses de récupération entre matches différents en raison de la variabilité des actions en jeu et des niveaux de fatigue observés. Les simulations de match ont été utilisées par des chercheurs pour normaliser les conditions d'exercice, mais elles ont généralement des niveaux de fatigue inférieurs aux matches réels (Bailey et al., 2007; Nédélec et al., 2013c) Les conditions de match ont été identifiées comme ayant une diminution de la force musculaire après un exercice (Howatson et coll., 2009)

Le niveau de force était de 100 sauts en contrebas (drop jump)

Mesuré au cours de l'exercice, puis toutes les 24 heures pendant les 4 jours suivants.

Cette étude a montré une perte de force de 21% 24 heures après l'exercice. Ce type de modèle a l'avantage d'évaluer la récupération musculaire.

La fatigue accrue permet de mieux comprendre l'impact des stratégies de récupération.

1.3.3.1 La fatigue induite par un match de football :

Les efforts déployés lors d'un match de football entraînent une diminution de la capacité de jeu. Une étude a révélé une diminution significative ($p < 0,05$) de la distance parcourue à haute intensité dans les 5 minutes qui suivent une période très intense (Mohr et al., 2003) En outre, le sprint effectué dans le dernier quart d'heure était fortement réduit par rapport aux autres quarts d'heure du match. Ces résultats confirment qu'il y a une fatigue qui ne permet pas de continuer à faire des efforts à haute intensité à court terme ou à moyen terme pendant la partie.

Les études portant sur l'évolution du niveau de force immédiatement après un match sont présentées dans le tableau 1. La force des extenseurs du genou a diminué de 7,1% à 11%, tandis que celle des fléchisseurs du genou a diminué de 7% à 15,4%, selon les résultats. Une analyse de la taille de l'effet montre que la participation au match influence la performance de tous les individus.

Les recherches sur la fatigue post-match ont révélé une fatigue musculaire post-match (Magalhães et al., 2010 ; Rampinini et al., 2011) Outre l'évaluation de la puissance des extenseurs du genou, comme mentionné ci-dessus, Magalhães et al. 2010) ont également mesuré la force concentrique à 90° .s-1 des fléchisseurs du genou et ont observé une diminution de la force de 15.4 % trente minutes après le match. Ascenso et ses collaborateurs. En 2008, la force concentrique des extenseurs du genou (10%) et des fléchisseurs du genou (15%) a diminué de 90° .s-1.

Rampinini, et coll. 2011) ont également observé une baisse de l'implication volontaire à la suite d'un match de football. Le niveau d'activation volontaire a diminué de 7,7% ($p < 0,001$) immédiatement après.

Le résultat était de 3,3% ($p = 0,019$) 24 heures après le match. Puisque l'évaluation de ce paramètre permet de

Ces résultats (Gandevia, 2001) suggèrent que la fatigue causée par un match de football est liée aux aspects centraux et périphériques. La baisse d'activation volontaire peut durer jusqu'à 24h après une partie et revenir aux valeurs normales après 48h (Rampinini et al., 2011)

Tableau 1 : Evolution du niveau de force immédiatement après un match de football

Travaux	Enchantions	Mesure F-m
Rampinini et al. (2011)	20 ♂ haut niveau	EXT ISO (90°)
Thorlund et al. (2009)	9 ♂ jeunes	EXT ISO (70°) FL ISO (70°)
Andersson et al. (2008)	9 ♀ haut niveau	EXT CONC (60°.s ⁻¹) FL CONC (60°.s ⁻¹)
Ascensão et al. (2008)	16 ♂ div. inf.	EXT CONC (90°.s ⁻¹) FL CONC (90°.s ⁻¹)
Magalhães et al. (2010)	16 ♂ div. inf.	EXT CONC (90°.s ⁻¹) FL CONC (90°.s ⁻¹)

La La fatigue post-match est due à plusieurs facteurs dont les pertes de glycogène. Selon Krstrup et coll. 2006) L'effet de jouer à un match de football sur les taux de glycogène musculaire. Les valeurs mesurées après le match (moyenne erreur standard : 25522 mmol.kg-1 de muscle frais) ont été significativement plus basses (p0,05) que celles mesurées avant le match (moyenne erreur standard : 44923 mmol.kg-1 de muscle frais) Une diminution des réserves de glycogène semble être à l'origine de la fatigue post-match (Krstrup et al., 2006)

En somme, la fatigue causée par un match de football est liée à des facteurs centraux et périphériques. La fatigue semble aussi être induite par des facteurs métaboliques comme l'indication de la baisse des réserves de glycogène après un match.

1.3.3.2 L'épuisement causé par un entraînement augmentant les Dommages

musculaires :

L'exercice qui favorise les dommages musculaires entraîne une grande fatigue pouvant durer plusieurs jours. Le tableau 2 montre comment le niveau de force a augmenté à la suite d'un exercice inducteur de dommages musculaires. Les différentes recherches ont démontré une diminution de la force des extenseurs du genou, immédiatement après l'exercice, allant de 10% à 68%. Pour la plupart des études présentées dans le tableau 2, quatre jours de récupération ne suffisent pas dans les jours qui suivent l'exercice pour revenir aux valeurs initiales. Paulsen, A. Les effets d'un exercice impliquant 300 contractions excentriques à $30^{\circ}.s^{-1}$ sur les cinétiques de récupération de la force concentrique à $60^{\circ}.s^{-1}$ ont été étudiés en 2010. 96 heures après l'exercice, le niveau de force a diminué de 158%, ce qui témoigne de l'efficacité de l'exercice pour éviter les dommages musculaires. Les sujets modérément et très répondeurs ont été distingués dans cette même étude par les auteurs. Les personnes qui avaient une diminution de force allant jusqu'à 55% après l'exercice ont modérément répondu à l'exercice. Les personnes qui avaient une baisse de force supérieure à 55% après l'exercice ont été très satisfaites. En moyenne, la force a diminué de $39 \pm 11,6\%$ chez les sujets modérément répondeurs. En moyenne, la force a baissé de $68 \pm 4,7\%$ chez les sujets modérément répondeurs.

Le niveau d'activation volontaire peut aussi être affecté par la réalisation d'un exercice inducteur de dommages musculaires (Endoh et al., 2005; Prasartwuth et al., 2005) Endoh, A. En 2005, des chercheurs ont étudié l'évolution de l'activation volontaire des fléchisseurs du coude après un exercice inducteur de dommages musculaires. Le mouvement comprenait 30 contractions excentriques à $30^{\circ}.s^{-1}$. Le degré d'activation volontaire a été évalué par les auteurs sur un test de fatigue effectué 60 secondes, 2 et 4 jours après l'exercice. L'activation volontaire a diminué significativement 2 jours ($-4,6\%$; $p < 0,001$) et 4 jours ($-11,1\%$; $p < 0,001$) après l'exercice inducteur de dommages musculaires.

1.4 Intérêt de la récupération

La charge et la récupération sont entrelacées, l'une n'est pas sans l'autre. Michel Dufour parle d'un grand puzzle où toutes les pièces doivent être, quelle soit la taille ou la disposition de la pièce, elle sera importante dans la performance finale « La qualité et la quantité de la pièce dictent la cinétique du progrès ». ». L'amélioration de la récupération permet : - Une adaptation plus facile aux charges d'entraînement. - réduire le risque de surcharges. - diminuer le risque de blessures - De rendre les performances plus répétées

1.5 La récupération chez sportifs.

De moins en moins de paramètres sont laissés au hasard dans un monde sportif de plus en plus professionnalisé. La performance d'un athlète de haut niveau dépend de plusieurs facteurs tels que la capacité intrinsèque musculaire et psychique, la charge d'entraînement, la capacité de récupération, etc. Il est difficile de maîtriser tous ces facteurs dans des domaines très vastes et difficiles, mais la technologie et les connaissances actuelles permettent de quantifier et d'améliorer au maximum tous ces éléments. Les préparateurs sportifs et entraîneurs ont géré l'ensemble du monde sportif dans la programmation des charges de travail lors des entraînements. Les modalités de récupération sont souvent laissées à la charge de l'athlète et leurs absences régulières peuvent l'amener à surcharger et à surentraîner. La récupération est un aspect important de la performance. C'est pourquoi l'équipe qui entoure l'athlète, les préparateurs physiques, entraîneurs, médecins et bien sûr masseur kinésithérapeute (MK) est là pour améliorer cette récupération.

1.6 Physiologie de la récupération :

Le repos est aussi important que l'exercice.

Pendant cette période, le phénomène de surcompensation est apparu.

Le stock de glycogène a légèrement augmenté, mais non seulement reconstitué.

Afin de mieux gérer l'épuisement énergétique stressant. Avec le temps, celle-ci

Cette méthode permet de renforcer la capacité de stockage de ce glucide dans les muscles.

Le foie et la nourriture. Au moment de la récupération, les réserves d'énergie épuisées pendant l'effort et l'acide lactique sont à nouveau synthétisées. Le surplus d'oxygène consommé correspond au remboursement de la « dette d'oxygène » contractée au cours de l'effort. Dans les trois premières phases, le pouls diminue rapidement, puis il est plus lent. La phase rapide est le temps nécessaire pour reconstituer une grande partie de la réserve de phosphagènes, qui est la composante alactique de la dette d'oxygène. Pour un coureur, cette étape est cruciale car elle déterminera sa capacité à l'attaquer ou à la contrer plusieurs fois de suite. La deuxième période de récupération dure heures ; il s'agit de la partie lactique de la dette d'oxygène. L'objectif est de supprimer l'acide lactique de l'organisme.

. La récupération lactique est bien représentée par le pouls de récupération (P3) du test de Ruffier. Il est à noter que 85 de la créatine phosphate sont resynthétisés en deux beats. Le sprint est rapidement récupéré si la filière des phosphagènes ou alactiques est sollicitée. Cependant, la récupération du glycogène musculaire se fait rapidement. Il faudra six heures pour récupérer 50 du stock original en suivant un régime alimentaire riche en glucides. En absence de glucide, 10 réserves sont restaurées dans le même temps et moins de 20 en 48 heures. Si des exercices intermittents de courte durée sont effectués, la récupération du glycogène est plus rapide même en l'absence de prise de glucides. La récupération ne durera que 24 heures.

charges de travail sans risque de surentraînement (Harris et al. 1976 Colliander et al. 1988).

1.7 Les techniques de la récupération :

Le domaine de la récupération est vaste et comporte de nombreux facteurs, ce qui entraîne une variété de modes d'application selon le type de sport et les attentes du sportif. Il est donc difficile d'établir un protocole précis de récupération après une activité physique.

Parmi les multiples ressources disponibles, mais cela dépendra de l'équipe médicale, de l'athlète et surtout du matériel disponible. Tout comme la charge de travail, il faut individualiser la récupération en fonction de l'unicité de l'athlète. Un nageur ne pratique pas le handball, donc la récupération ne sera pas la même.

La récupération est séparée en deux grands groupes qui ne sont pas autonomes. Il sera question de récupération physique, et plus précisément de récupération musculaire. Le but est de retrouver rapidement un état métabolique antérieur à l'effort physique et de revenir à l'homéostasie. La seconde partie porte sur le montant psychologique.

L'athlète peut souffrir de tensions nerveuses, de fatigue mentale ou de saturation en raison des compétitions ou entraînements, de la pression et des enjeux.

La récupération débute d'abord par l'équilibre entre le sportif et son environnement, sa vie personnelle, sa vie professionnelle (très présente), relation avec les coachs, les partenaires, etc. Deux éléments de récupération naturelle, l'alimentation et le sommeil, permettent à l'organisme de reconstituer ses réserves énergétiques et d'éliminer les déchets. L'hydratation compense les pertes en eau, contribue aux refroidissements du corps, combat l'acidose et élimine les déchets cataboliques.

Les bicarbonates sont utilisés pour compléter les apports de l'alimentation en minéraux (Fe^{2+}), en énergie (glucose) et avoir un effet tampon (action sur le pH) dans certaines boissons énergétiques.

Même les amateurs de sport ne sont pas familiers avec l'alimentation et l'hydratation.

- Il serait difficile de décrire en détail les effets attendus de chaque méthode, car elles sont nombreuses. Les athlètes, amateurs ou athlètes de haut niveau, peuvent utiliser de nombreuses techniques pour faciliter et accélérer leur récupération :

-

Rapport de récupération.

- La récupération active est en cours.

- Les étiquettes.
- Les massages et la presse thérapie.
- La technique de l'électrothérapie.
- Le sauna-hammam est disponible.
- Thermalisme
- Bande de retenue
- Thérapeute Oxygénothérapie Hyperbare
- Sommeille - Sommeille
- Les modes d'application de la cryothérapie varient.

Les intérêts d'application de nombreuses techniques peuvent être perplexes en raison de l'absence de travaux ou du manque de données scientifiques évidentes

.1.7.1 La Cryothérapie :

- Très longtemps employée en médecine pour ses propriétés antalgiques et anti-inflammatoires, la Cryothérapie est depuis quelques années utilisée dans le sport pour le traitement des traumatismes ainsi que pour ses effets sur la récupération.
- La cryothérapie peut être utilisée de trois façons.
-
- Appli au niveau local
- Temps frais
- Partie de bain froid

1.7.1.1 Application locale ;

C'est la méthode la plus répandue, elle consiste à mettre en contact avec une partie du corps une source de froid. Parmi les principales, nous pouvons citer :

- La glace en application directe avec un linge (humide ou sec), ou dans une vessie
- Poche de gel cryogène, ou poche de froid immédiat avec de l'eau et du sel
- Les gaz (CO2) et l'air froid réfrigéré pulsé sous forme de spray, bombe ou compresseur.

Les principaux effets observés localement lors d'une application de froid sur une région musculaire sont :

- - Vasoconstriction locale des capillaires
- - **Effet anti-inflammatoire (réduction de la thrombose)**
- - Baisse de la conduction nerveuse (effet antalgique)
- - **Détérioration de la masse musculaire et réduction de la masse volumique**

Bien que cette méthode soit devenue populaire et connue de tous, elle n'est pas sans danger. La complication majeure est la brûlure cutanée. Le sujet ou le soignant doit donc être attentif aux réactions locales (douleurs, rougeurs...) et aux durées et conditions d'applications.

Les principales contre-indications à l'utilisation locale sont les mêmes que pour toutes les méthodes de cryothérapie (Cryoglobulinémie, syndrome de Raynaud, troubles sensibilité cutané, etc). Il est important de traiter avec prudence les zones de passage nerveux sous-cutané. Comme son nom l'indique, la cryothérapie locale ne s'applique qu'à une petite zone.

1.7.1.2 Ambiance thermique froide :

1.7.1.3 Cryothérapie en corps entier (CCE) :

La 1ère chambre froide très basse température est apparue au Japon dans les années 1980, puis utilisée en 1989 par Yamauchi pour les traitements des rhumatismes. Cependant son utilisation comme aide à la récupération des sportifs est récente.

La cryothérapie en corps entier ou CCE se pratique dans une chambre composée de 3 cabines de températures différentes, où le patient effectue des passages brefs

couvert de protections (gants, chaussettes, couvre-oreilles). La première pièce est à -10°C , avec un passage rapidement dans la 2ème à -60°C pour atteindre la 3ème qui est à -110°C et y rester 3minutes.

Les 2 premiers sas sont utiles pour limiter la déperdition de froid. Un opérateur surveille en permanence et la communication est possible avec le sujet toujours en mouvement, et respirant calmement. En conclusion, la CCE est un outil récent d'aide à la récupération et restant très onéreux. Les données de littérature scientifique évoquent des effets bénéfiques sur certains paramètres de l'inflammation, mais aussi sur un possible renforcement anti-oxydant, et amélioration de l'humeur. Des études complémentaires davantage ciblées sur l'activité physique devraient permettre de mieux évaluer ses effets pendant une période post-exercice et renseigner sur la capacité ou non des sportifs à mieux récupérer en utilisant cette nouvelle technique.

1.7.2 Immersion en bain froid :

L'immersion est un procédé de récupération de plus en plus courant, on distingue 4 modalités différentes selon la température :

- Eau chaude $>42^{\circ}\text{C}$
- Eau tempérée ; entre 15° et 36°C
- Eau froide $<15^{\circ}\text{C}$
- Contrasté : alternance immersion eau chaude et eau froide La technique en eau froide, consiste à immerger dans une eau inférieure à 15°C , une partie du corps ou sa totalité.

Depuis les années 1990-2000, on remarque un intérêt accru pour cet outil en vue d'optimiser la récupération.

L'objectif de cette partie est donc de faire le point sur la littérature actuelle autour de l'immersion en bain froid.

1.2 Mécanismes de la récupération par immersion eau froide :

La récupération par immersion en bain froid s'appuie sur 2 mécanismes :

- - La pression hydrostatique (immersion)

- - Les effets du froid (cryothérapie)

Quand le sujet est immergé, l'eau exerce une force compressive sur le corps appelée « Pression hydrostatique ».

Au niveau de la mer, la pression atmosphérique agit sur le corps une pression égale à environ 1013 Pa L'eau étant 800 fois plus épaisse que l'air, elle exerce une pression plus importante sur le corps à la même altitude. Plus le sujet sera immergé profondément (h augmente) et plus la pression hydrostatique sera importante.

$$P = P_{atm} + g \cdot p \cdot h$$

P : Pression hydrostatique

P_{atm} : Pression atmosphérique

(1013hPa) g : gravité (9,81m.s²)

p : densité de l'eau

(1000kg.m⁻³) h : hauteur

immersion

En immersion verticale, la pression hydrostatique n'est pas la même sur les jambes car plus on s'approche de la surface, plus la pression diminue. Ce qui permet d'obtenir un gradient de pression, se faisant dans le sens du retour veineux.

Les mouvements de fluides, de gaz et de substances sont provoqués par cette pression au sein de la personne. Ces mouvements permettraient de réduire le volume de l'œdème produit par les exercices musculaires mais également de limiter l'influx nerveux par compression des muscles et des nerfs

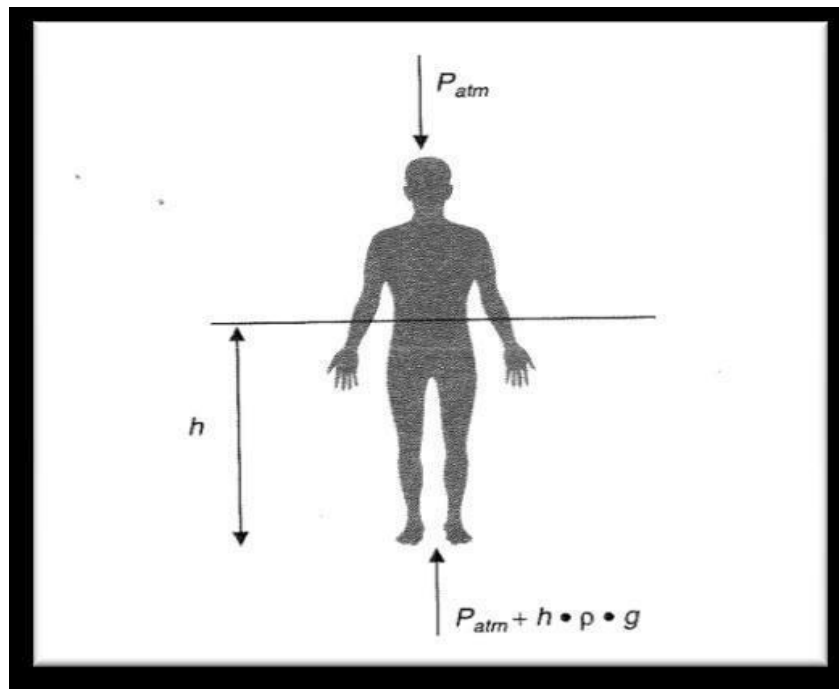


Figure 1 : pression hydrostatique sur sujet immergé

L'exposition au froid induit de nombreuses réponses physiologiques au sein de l'organisme.

Tout d'abord, la baisse de la température corporelle a un impact intéressant sur la transmission nerveuse. Les échanges métaboliques autour de la membrane des nerfs seront altérés par le froid, ce qui réduira la vitesse de conduction des stimulations sensorielles, ce qui modifiera la perception de la douleur et de la fatigue.

Par la suite, afin d'assurer une température interne constante, le corps préfère l'irrigation du territoire central de l'organisme à celle de ses extrémités par le phénomène de vasoconstriction.. Ensuite au Le froid est à l'origine de la diminution des réactions métaboliques cellulaires, limitant ainsi la libération ou la sécrétion des médiateurs de l'inflammation.

La variante de l'immersion alternée d'eau chaude / d'eau froide, qui provoque successivement vasoconstrictions et vasodilatations, est la troisième mécanique physiologique recherchée. Phénomène retrouvé mais de manière moins importante dans certains protocoles d'immersion en bain froid, où le sujet alterne sur des courtes durées (quelques minutes), des phases d'immersions et de non immersions.

Ces phénomènes confortent l'idée que les techniques d'immersion en bain froid semblent théoriquement favoriser les processus de récupération. Les études montrent une forte variabilité des résultats en fonction des modalités utilisées

Chapitre 2

Réponses physiologiques
liées à une immersion en eau
froide

2.1 Présentation :

La période récupération peut être définie comme la durée nécessaire pour que les différents paramètres physiologiques modifiés par l'activité atteignent les valeurs de l'état de repos. Il est proposé d'écrire leur cinétique de retour aux valeurs de repos après avoir défini ces paramètres en fonction de la durée et de l'intensité de l'exercice.

L'ensemble du cur-poumon assure une fonction de transport lors de l'exercice physique. Le cur régule la circulation du sang afin de fournir suffisamment d'oxygène et de substrats énergétiques aux muscles. L'apport des composés requis pour la production d'énergie par le muscle est assuré par cet ensemble fonctionnel. Le système cardio-pulmonaire est activé par une augmentation du débit ventilatoire et du débit cardiaque liée à l'intensité de l'exercice. Le retour de ces paramètres aux valeurs de repos sera la condition de la récupération. Selon l'analyse des résultats de la cinétique de récupération, le retour à la valeur de repos des paramètres cardio- respiratoires est relativement rapide à l'issue d'un exercice physique même épuisant. Il sera démontré que la récupération des réserves métaboliques est beaucoup plus longue et qu'elle détermine le temps de récupération, car la récupération générale de l'activité musculaire dépend avant tout de la récupération des réserves d'énergie. Les stocks d'énergie sont les stocks de carburant dont l'activité physique a besoin pour alimenter les cellules musculaires. Les principaux carburants sont les réserves de phosphagène musculaire, d'hydrates de carbone, lipidiques et d'acides aminés. L'utilisation des substrats varie selon la durée et l'intensité de l'exercice musculaire. La récupération sera analysée en fonction de ces paramètres. À partir de ces données, nous essayerons d'établir les distinctions entre les athlètes.

2.2 La fréquence cardiaque :

La fréquence cardiaque est un paramètre physiologique largement utilisé comme une mesure objective de la dépense énergétique (Strath et al., 2000 ; Epstein et al., 2001) L'instrument de mesure est constitué d'un émetteur et d'un récepteur. L'émetteur est placé sur la poitrine et le récepteur, comme une montre digitale, au

poignet. La fréquence cardiaque est mesurée toutes les 15, 30, 45, ou 60 secondes sur 24 heures.

L'énergie est consommée individuellement à l'aide de

La consommation est mesurée en même temps que les équations de régression.

La fréquence cardiaque au repos et lors d'exercices de

à plusieurs niveaux. D'après le postulat que le rythme cardiaque est directement

Concernant la consommation d'oxygène, la fréquence cardiaque est utilisée

Évaluer la consommation d'énergie.

Les activités d'intensité faible et très élevée ne sont pas toujours corrélées.

Il est difficile d'évaluer précisément la fréquence cardiaque en raison de l'intensité faible à modérée de nombreuses activités quotidiennes.

la consommation d'énergie quotidienne dans les conditions normales de la vie quotidienne.

Cependant, la fréquence cardiaque peut être utilisée pour évaluer la consommation d'énergie, mais la précision de l'estimation varie selon le type de fréquence cardiaque utilisé et les paramètres utilisés pour prédire la consommation.

d'activité physique.

Selon Keytel et coll., 2005, une étude plus récente sur l'activité physique à partir de la fréquence cardiaque est possible, mais son utilisation chez les adolescents n'est pas recommandée (Ekelund et coll., 2001 ; Epstein et coll., 2001)

De nouvelles courbes de calibration individuelle pour la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène, ainsi que les facteurs influençant la fréquence cardiaque (stress, température du corps, prise de médicaments...) sont nécessaires. Méthode d'enregistrement de la fréquence cardiaque (stress, température du corps, prise de médicaments...) rendent l'enregistrement de la fréquence cardiaque moins adapté à des études sanitaires que pour l'entraînement sportif par exemple (Lamote et al., 2001) Il est possible d'utiliser la fréquence cardiaque dans une démarche

combinant différentes méthodes ; En associant ce paramètre à un accéléromètre, on obtient des résultats intéressants et encourageants. (Eston et al., 1998 ; Treuth et al., 1998) Collaboration Expertise, 2008.

2.2.1 Définition de la fréquence cardiaque :

Lorsque le doigt comprime une artère sur un plan solide, il ressent un effet de choc. Le choc de l'ondée sanguine contre l'aorte est transmis par les parois artérielles lors de la contraction ventriculaire. On peut palper le pouls à tous les niveaux où les axes artériels sont assez superficiels aux membres supérieurs, le pouls de l'artère humérale aux plis du coude, près de la face interne, ou le pouls radiale à la face antérieure du poignet le long de son bord externe aux membres inférieurs, le pouls fémoral à la face antérieure de la racine de la cuisse, au milieu de celle-ci, le pouls tibial postérieur à la cheville.

- Il est possible de nous informer de la prise de pouls sur :
 - Le rythme cardio-vasculaire.
 - La qualité des contractions cardiaques est déterminée par la force des battements artériels à l'endroit où l'en palpe le pouls.

2.2.2 La physiologie cardiovasculaire :

Le cœur propulse les vaisseaux sanguins par la contraction rythmique. par une succession de systoles et de diastoles. Les mouvements réguliers et cycliques engendrent une véritable révolution dans le cur.

La contraction du cur résulte d'une stimulation électrique qui se produit régulièrement et spontanément dans une zone spécifique du cur : le tissu nodal. Les battements cardiaques normaux sont de 70 à 80 par minute.

2.3.2.1 La révolution cardio-vasculaire :

Le rythme cardiaque se déroule de manière cyclique en suivant une série de Des révolutions cardiaques ou des cycles cardiaques sont effectués.

En moyenne, le diastole dure entre 0,8 et 0,5 secondes en systole. Il est infatigable et non tétanisé car il repose plus qu'il ne travaille. Le cœur est révolutionné :

Une systole auriculaire est présente.

Une systole ventriculaire.

3- d'un diagnostic général

2.3.2.2 Le contrôle de l'activité cardiaque :

L'automatisme est présent dans le cœur. L'innervation cardiaque permet de moduler le rythme cardiaque en utilisant des nerfs sympathiques et parasympathiques. Des molécules chimiques (neurotransmetteurs) remplacent les nerfs.

Les mécanismes de régulation sont dus aux différences de pression artérielle et de composition chimique du sang. La durée de la fréquence cardiaque devrait être déterminée en fonction du taux de consommation d'énergie basale et de l'énergie totale par vie.

L'augmentation des besoins énergétiques réduit la durée de vie moyenne.

Les méthodes pour réduire la FCR devraient améliorer l'espérance de vie en utilisant cette théorie. Dans le règne animal, l'hibernation réduit considérablement la FCR et prolonge la vie. Par exemple, en hibernation, le rythme cardiaque des chauves-souris passe de 45 fois à 10–20 bpm. Les chauves-souris qui hibernent vivent 70% plus longtemps que ceux qui ne hibernent pas (risque d'hospitalisation) et la mortalité est plus élevée. W. GS. 2002)

La FCR est l'un des paramètres cardiovasculaires les plus faciles à mesurer et

comprend habituellement entre 60 et 80 battements par minute (bpm). Dans certains individus sédentaires, elle peut dépasser 100 bpm et diminuer à moins de 50 bpm. Des athlètes sains. Les résultats épidémiologiques démontrent une forte corrélation entre la FCR et ses corollaires, comme la récupération de la FCR après l'exercice et la variabilité de fréquence cardiaque, atténuée par le système autonome sympathique augmenté par le parasymphatique, et la morbidité cardiovasculaire. Il en résulte que la FCR est la variable de la durée de vie (espérance) La FCR a été identifiée comme un facteur de risque cardiovasculaire indépendant dans de nombreuses études. Toutefois, elle demeure souvent ignorée. Cook S, 2006) ACRAMOV et COUSTEAU affirment que le cœur des enfants grandit inégalement dans toutes les directions ; plus rapide et beaucoup plus longue, il grandit ensuite en largeur et en épaisseur. Le pouls au repos est de 76 à 90 b/mn, la pression artérielle est de 100/70 mm Hg et sous l'influence de la charge physique, il augmente jusqu'à 185 b/mn.

Vers 7 à 8 ans, le développement de l'appareil d'innervation du cœur prend fin. mais le cœur ne cesse de grandir.

Les enfants éprouvent rapidement une fatigue lors des exercices physiques. Ces derniers ne sont pas capables de supporter des charges importantes sur une longue période. Le volume sanguin par minute augmente grâce à l'accélération des contractions cardiaques et à l'augmentation infime de l'éjection par battement du sang. Les enfants âgés de 10 à 13 ans ont les mêmes conditions d'activité que les enfants âgés de 14 à 17 ans et les adultes. Le volume par battement et la force des contractions du muscle cardiaque augmentent, mais la fréquence de la respiration et du pouls diminuent.

On a constaté que la fréquence des contractions cardiaques est de 70 b/mn au repos ; la pression artérielle est de 110/70 mmHg. Le rythme cardiaque atteint 200 b/mn maximal.

Le fonctionnement du cur chez les enfants et les adolescents n'est pas encore parfait, et même le système cardio-vasculaire n'a pas encore été formé

définitivement. A., AKRAMOV 1990, et J.P. COUSTEAU en 1987.

2.3.3 La récupération de la fréquence cardiaque après l'effort :

La fréquence cardiaque (HR) est le nombre de battements cardiaques (du cœur) par unité de temps (habituellement 1 minute) La récupération de la fréquence cardiaque (HRR) Après l'exercice, c'est-à-dire la diminution de la fréquence cardiaque qui survient après un effort donné (habituellement physique)

2.4 La signification physiologique :

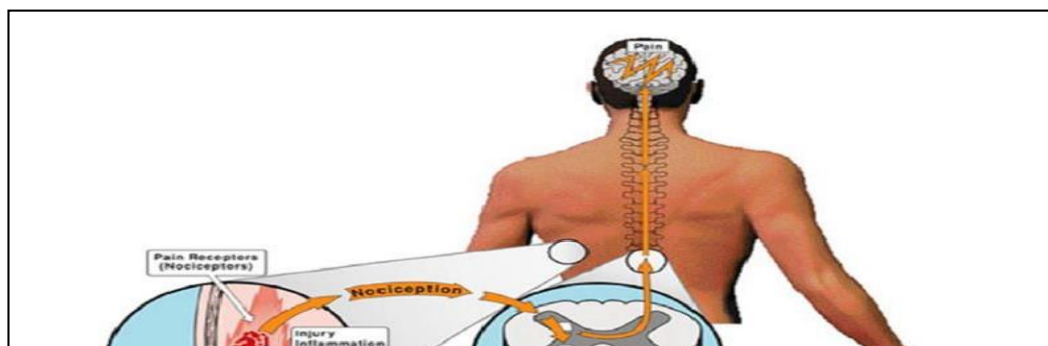
Les fonctions non volontaires du système nerveux autonome affectent la HR. Dans la partie efférente, il est divisé en système nerveux orthosympathique et parasympathique La réactivation vagale (réhabilitation du tonus parasympathique) est la cause de la HRR.

On a étudié les propriétés physiologiques du processus de la HRR chez des adultes en bonne santé, des sportifs et des patients souffrant d'insuffisance chronique cardiaque. Selon les résultats, la réactivation vagale a été le principal facteur de diminution de la fréquence cardiaque pendant les premières 30 secondes de récupération pour les trois groupes.. Ce mécanisme est démontré comme indépendant de l'âge et intensité d'exer Comme l'illustre la figure ci-contre, à la HR maximale, l'activité parasympathique est résiduelle voire nulle tandis que l'activité sympathique est maximale. Une diminution plus importante du tonus parasympathique est observée après l'effort, tandis qu'une deuxième courbe est due à la diminution du tonus. On a étudié les propriétés physiologiques du processus de la HRR chez des adultes en bonne santé, des sportifs et des patients souffrant d'insuffisance chronique cardiaque. Selon les résultats, la réactivation vagale a été le principal facteur de diminution de la fréquence cardiaque pendant les premières 30 secondes de récupération pour les trois groupes.. Ce mécanisme est démontré comme indépendant de l'âge et intensité d'exer Comme l'illustre la

figure ci-contre, à la HR maximale, l'activité parasympathique est résiduelle voire nulle tandis que l'activité sympathique est maximale. Une diminution plus importante du tonus parasympathique est observée après l'effort, tandis qu'une deuxième courbe est due à la diminution du tonus.

2.5 HRR et le sport :

Est-ce la HRR est liée à la capacité de performance ? La récupération rapide de la fréquence cardiaque après l'effort est généralement considérée comme un signe de bonne condition physique. Que dit la science ? Les recherches transversales montrent que la HRR est plus rapide chez les sujets entraînés que chez les sujets en bonne santé non entraînés. La HRR peut mesurer les différences entre les individus en bonne santé, entraînés et non entraînés, selon la majorité des recherches longitudinales. De plus, une augmentation proportionnelle de la HRR et de la puissance produite a été observée dans les études longitudinales lorsque l'on exclut des états de fatigue ou de fatigue extrême, la HRR augmente lorsque l'état de conditionnement physique est amélioré, reste inchangée si l'état de conditionnement n'est pas modifié et diminue lorsque l'état d'entraînement diminue. La HRR peut être un indicateur de la condition physique généralement exprimée en $V O_2\max$. C'est très lié à l'état d'entraînement dans la population générale mais moins sensible pour Si la HRR est bien standardisée, elle pourrait être un outil prometteur pour détecter les changements d'état physique chez les athlètes et les personnes moins entraînés.



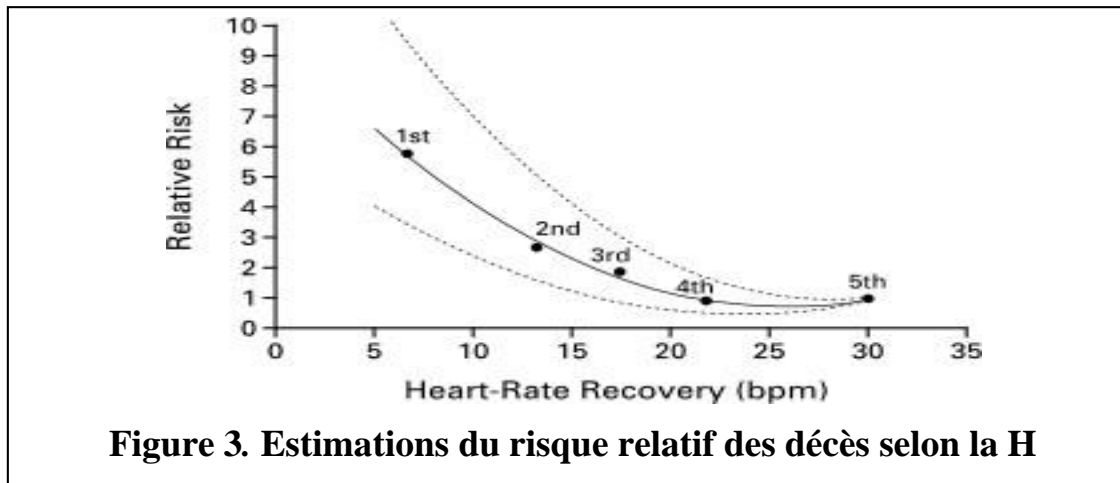
2.6 la santé et H.R.R :

Les études sur le fonctionnement du cœur ont toujours eu pour objectif de fournir des informations nécessaires à la prévention de la mort et à la promotion de la santé. Des questions ont été posées sur l'activité électrique, la fréquence cardiaque et plus récemment sur la variabilité de la fréquence cardiaque (heart rate variabilité ou HRV)

Les signes de sécurité Le taux de cardiovasculaire est La fréquence cardiaque diminue. et la durée du séjour. rétablissement après un exercice modéré. Peut être intense ou intense. En outre, l'étude la Cela fonctionne.

L'image illustrée montre une relation négative entre un niveau élevé d'activité parasympathique et la progression de la maladie cardiovasculaire, selon plusieurs études. Pendant la première minute, la tendance de la mortalité selon la HRR est observée dans une population de 2 428 sujets apparemment sains. Chez les personnes ayant une HRR faible, la mortalité est plus élevée. La perte de capacité physique est fortement liée à l'apparition de

valeurs anormales de HRR. Les 12 battements par minute ont été définis par les auteurs. Est-il envisageable d'utiliser HRR comme un outil médical ? La faible valeur post-exercice de la HRR, démontrée comme un signe de diminution de l'activité vagale, est en effet un signe puissant et autonome de mortalité. Il est possible de calculer ce marqueur à partir de protocoles existants et de l'utiliser dans une routine clinique.



2.7 H.R.R – Applications pratiques :

Comment mesurez-vous la HRR ? Quelle mesure est la plus reproductible ? En recherche scientifique, différentes méthodes permettent d'évaluer la vitesse de la HRR. Les études ont révélé que la reproductibilité de ces techniques est devenue cruciale. La figure suivante illustre les résultats de l'une de ces études. Le coefficient de corrélation utilisé dans la figure est l'ICC pour la reproductibilité relative et le SEM pour la reproductibilité absolue. Le Tau est utilisé pour mesurer le temps nécessaire pour couvrir 63 % du gain de la récupération de la fréquence cardiaque de repos. En bref, plus la valeur du Tau est basse, plus la valeur de la HRR est grande. La fréquence cardiaque d'une minute correspond à la différence absolue entre la fréquence cardiaque immédiatement après l'exercice et la fréquence cardiaque après une minute de repos passif.

La T30 est la droite de régression entre le logarithme naturel de la fréquence cardiaque et le temps écoulé entre la 10e et la 40e seconde après l'exercice. Dans l'entraînement, les cardiofréquencemètres sont de plus en plus utilisés et facilitent

grandement les mesures sur le terrain. Différents tests ont été développés pour quantifier et évaluer l'HRR dans le sport. Sur ces derniers, le test de Ruffier et Dickson est le plus utilisé, tout comme les indices qui l'accompagnent. Dès l'utilisation d'une méthode bien standardisée, il est possible de réaliser facilement ce test. Le test de Ruffier-Dickson, peu coûteux, permet d'évaluer la vulgatisation dans le cadre d'un bilan de condition physique. Le test est simple après une pause d'environ cinq minutes

1/ Souffler (P1) ;

En 45 secondes et avec une allure régulière, il est possible de réaliser 30 flexions complètes sur les jambes, bras tendus et pieds bien à plat sur le sol. La valeur finale du test pourrait être modifiée par une fréquence de montées et de descentes trop rapides ou trop lentes. Souffler juste après (P2)

3/ Se reposer et reprendre le pouls une minute après l'exercice (P3) Nous avons généré deux indices, l'indice de Ruffier $((P1 + P2 + P3) - 200 / 10)$ et l'indice de Dickson $((P2-70) + 2(P3-P1)) / 10$ comme indiqué dans le tableau suivant.

Tableau 1. Indices de Ruffier et de Dickson. Tableau adapté de est-de-ruffier-dickson/.

Indice de Ruffier	Indice de Dickson
Indice < 0 = très bonne adaptation à l'effort	Indice < 0 = excellent
0 < indice < 5 = bonne adaptation à l'effort	0 < indice < 2 = très bon
5 < indice < 10 = adaptation à l'effort moyenne	2 < indice < 4 = bon
10 < indice < 15 = adaptation à l'effort insuffisante	4 < indice < 6 = moyen
15 < indice = mauvaise adaptation à l'effort	6 < indice < 8 = faible
	8 < indice < 10 = très faible
	10 < indice = mauvais

Quelle est l'importance du type de récupération, qu'elle soit active ou passive, pour HRR ? Pendant la récupération, on fait de l'exercice à faible intensité et pendant la récupération passive, on reste au repos. Selon les études, la HRR ne change pas de manière significative en fonction du type de récupération choisi. L'activité du frein vagal ne diffère pas entre une récupération active et passive [13] Si le type de récupération n'affecte pas la HRR, la récupération active est actuellement reconnue scientifiquement entre les exercices de courte [14], moyenne et longue durée.

La récupération passive a une incidence positive sur la performance. Est-ce que la HRR est modifiée selon la position de récupération, debout ou allongée ? La courbe de la HRR présente le même profil dans les deux cas, à savoir une baisse rapide de la HR dans la première phase et une baisse beaucoup moins importante dans la deuxième phase. En position couchée, la récupération moyenne de la HR est nettement inférieure à celle en position debout. Par ailleurs, le débit d'éjection systolique (SV) après l'effort debout baisse

Le SV augmente progressivement à un niveau comparable à celui du repos avant l'exercice. La pression artérielle (\dot{Q})

La résistance vasculaire périphérique (TPR) diminue progressivement à chaque

position. Enfin, la tension artérielle reste relativement stable grâce à des mécanismes de compensation entre eux, tels que la HR, (SV), \dot{Q} et TPR, lors de la récupération dans les deux postes [16]

Existe-t-il une distinction entre, le tapis et l'ergocycle, pour la HRR ? Le tapis et l'ergocycle sont les deux instruments les plus couramment utilisés pour évaluer les performances dans les laboratoires de physiologie. La HRR après une minute est plus fréquente chez les personnes en bonne santé que chez celles souffrant de pathologies cardio-pulmonaires, que ce soit sur un ergocycle ou sur le tapis. Par conséquent, la HRR après une minute est variable selon le type d'exercice, par exemple $\dot{V} O_2$. Les résultats de la HRR à deux et trois minutes ne présentent pas de différence significative, le type d'exercice est-il la répétition sprints (RS), le mode d'exercice continu modéré (MC) et l'exercice intermittent (HI) ? Des recherches ont été menées sur ce sujet.

Les résultats sont donc à prendre avec précaution. Buchheit et ses collaborateurs. (2007)

Trois indicateurs de HRR ont été utilisés : T30 (rapidité de récupération entre la 10e et la 40e seconde), HRR60s (différence absolue de la HR entre la fin de l'exercice et la 60e seconde) et HRRT (constante du temps des premières 10 minutes après l'exercice grâce à un algorithme mathématique qui adapte la HRR à une courbe de décroissance exponentiel) Les résultats montrent que les indices de réactivation parasympathique HRR60s et T30 n'ont pas de différences significatives entre RS et HI, mais qu'ils sont nettement plus bas que les résultats obtenus après le MC. [18]. La réactivation parasympathique après l'exercice RS est fortement altérée, ce qui semble être lié à la participation du processus anaérobie dans ce type d'efforts [18] Ainsi, à partir de cette étude, nous pensons que la diminution de la HR

La réaction immédiate après l'effort sera moins forte lors d'exercices courts à forte intensité par rapport à des exercices de longue durée à faible intensité.

Comment le HRR est-il lié à d'autres facteurs tels que l'âge, le sexe, l'indice de masse corporelle (Body mass index ou BMI) et le $V O_2\max$? La corrélation entre HRR et l'âge ainsi qu'avec la $V O_2\max$ est faible dans les travaux scientifiques de référence [19] En ce moment, l'effet du sexe est controversé, tandis que la HRR est en train de le faire.

Le BMI est inversement corrélé.

Aujourd'hui, la HRR est recommandée comme un moyen de suivre l'entraînement des athlètes de haut niveau et des athlètes moins entraînés. Il est possible d'utiliser la HRR pour optimiser les programmes individuels d'entraînement [6] En résumé, la HRR et la HRV sont des marqueurs cardiovasculaires donc très sensibles, moyennement reproductibles et donc à interpréter avec une grande précaution. Il sera donc toujours préférable de les prendre sur un intervalle de temps suffisamment long pour pouvoir comprendre un profil de HRR de l'athlète et ensuite étudier les variations potentielles avec beaucoup plus de connaissances.

2.9 La tension :

2.9.1 La pression artérielle :

Le sang est envoyé dans les vaisseaux par le cur à chaque contraction. Ce courant de sang applique sur la paroi des artères une pression qu'on appelle la tension artérielle.

Deux chiffres définissent la tension artérielle : la pression maximale ou systolique atteinte au moment de la contraction ventriculaire et la pression minimale ou diastolique, qui est la pression résiduelle au moment de la diastole.

Par exemple, elle est exprimée en centimètres ou en millimètres de mercure (120/70)

Les deux chiffres de l'OU 12/7) indiquent les pressions maximales et minimales. La pression artérielle est fonction de : Le rythme cardiaque, le diamètre des vaisseaux, enfin le volume sanguin. Des variations tensionnelles sont provoquées par la variation d'un ou plusieurs de ces facteurs. 2006)

2.9.2 Variations de la pression artérielle :

La pression systolique varie entre 110 et 140 mm hg chez l'adulte normal au repos, tandis que la pression diastolique varie entre 75 et 80 mm hg. Toutefois, la tension artérielle est très variable selon les individus. Votre pression naturelle n'est peut-être pas celle de votre grand-père ou de votre voisine.

L'âge, la masse corporelle, la race, l'humeur, l'activité physique et la position du corps sont également des facteurs de la pression artérielle. 25)



Figure n°5 : Un tension mètre

2.10 Mécanismes de la récupération par immersion eaufroide :

La récupération par immersion en bain froid s'appuie sur 2 mécanismes :

- Les effets de la pression hydrostatique (immersion)
- Les effets du froid (cryothérapie)

Quand le sujet est immergé, l'eau exerce une force compressive sur le corps appelée

« Pression hydrostatique ». Au niveau de la mer, la pression atmosphérique agit sur le corps une pression égale à environ 1013 Pa. L'eau est 800fois plus dense que l'air, ce qui a pour conséquence d'exercer une plus grande pression sur le corps à la même altitude. Plus le sujet sera immergé profondément (H s'accroît) et plus il y aura de pression hydrostatique.

$$P = P_{atm} + g \cdot \rho \cdot h$$

P : Pression hydrostatique

P_{atm} : Pression atmosphérique (1013hPa)

g : gravité (9,81m.s⁻²)

ρ : densité de l'eau (1000kg.m⁻³)

h : hauteur immersion

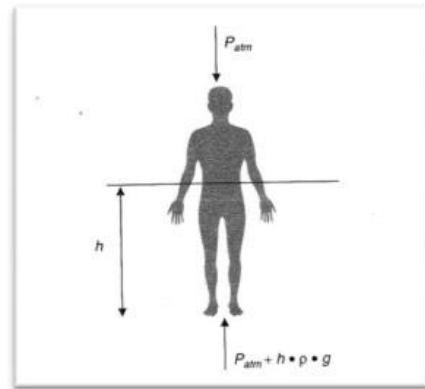


Figure 4 : pression hydrostatique sur sujet immergé

Pendant l'immersion, la pression hydrostatique ne se maintient pas sur les membres inférieurs car plus on se rapproche de la surface, plus la pression diminue. Cela donne lieu à un gradient de pression, dans le sens du retour veineux.

Cette tension entraîne dans l'organisme de l'individu des mouvements de liquides, de gaz, de matériaux. Ces mouvements permettraient de réduire le volume de l'œdème produit par les exercices musculaires mais également de limiter l'influx nerveux par compression des muscles et des nerfs.

L'exposition au froid induit de nombreuses réponses physiologiques au sein de l'organisme. Dans un premier temps, la diminution de la température corporelle présente un intérêt sur la transmission nerveuse. Les échanges métaboliques autour de la membrane des nerfs seront altérés par le froid, ce qui réduira la vitesse de conduction des stimulations sensorielles, ce qui modifiera la perception de la douleur et de la fatigue.

Dans un second temps, pour maintenir sa température interne constante, le corps privilégie l'irrigation du territoire central de l'organisme plutôt que celle de ses

extrémités par le phénomène de vasoconstriction. Ensuite au niveau local, le froid est à l'origine d'une diminution des réactions métaboliques cellulaires, limitant la libération ou sécrétion des médiateurs de l'inflammation.

Il existe une troisième mécanique physiologique recherchée grâce à une variante, c'est-à-dire l'immersion alternée eau chaude / eau froide, en générant successivement vasoconstrictions et vasodilatations. Phénomène retrouvé mais de manière moins importante dans certains protocoles d'immersion en bain froid, où le sujet alterne sur des courtes durées (quelques minutes), des phases d'immersions et de non immersions.

Ces phénomènes confortent l'idée que les techniques d'immersion en bain froid semblent théoriquement favoriser les processus de récupération. Les études montrent une forte variabilité des résultats en fonction des modalités utilisées

2.11 Point actuel de la littérature :

Depuis de nombreuses années les études, autour de la récupération par immersion en bain froid, se sont multipliées. Les auteurs se sont intéressés sur différents aspects de la fatigue : métabolisme, douleurs / courbatures (DOMS), œdème post-exercice, force et puissance.

2.12 Impact sur les marqueurs biologiques :

Beaucoup d'auteurs se sont penchés sur certains marqueurs biologiques, et leurs supposées relations avec la récupération et le maintien de la performance. Car comme expliqué précédemment, l'immersion en bain froid pourrait induire des mouvements métaboliques, et permettrait donc de réduire l'augmentation de la concentration plasmatique de ces substances.

On les divise en 2 catégories :

- Les marqueurs de l'inflammation
 - Marqueurs reliés aux lésions musculaires (muscle damage), comme la créatine kinase ou lactate déshydrogénase

Parmi le peu de recherches indiquant des résultats positifs, une étude australienne de Vaile montre la limitation de l'augmentation de Créatine Kinase (CK) sur 38 sujets. En effet, 24h après un exercice induisant des dommages musculaires suivi d'une immersion complète du corps pendant 14min dans une eau à 14°C, l'augmentation de CK est limitée à 3,6% alors que celle-ci augmente de plus de

300% après une récupération passive. Les mesures de CK étant prises à +24h, +48h et +72h [10]

Or la majorité des études ont montré l'absence d'effet de cette technique de récupération sur la cinétique de restauration de l'activité enzymatique de la CK. Par exemple Sellwood ne montrent pas de différence (à +24h, +48h et +72h) sur l'activité enzymatique après un exercice excentrique de jambes entre une récupération en eau tempérée à 24°C et l'immersion en bain froid à 5°C. Dans cette étude les sujets sont immergés jusqu'aux crêtes iliaques en alternant 3 fois ; 1min dans l'eau et 1min en dehors. La même observation se retrouve sur des exercices plus complexes. Roswell a comparé l'activité enzymatique de la CK après quatre matchs de football en 5 jours entre une récupération par immersion en eau tempérée à 34°C et une immersion répétée (5x 1min) dans une eau à 10°C [12]. Concernant les cytokines pro ou anti-inflammatoire, les conclusions sont les mêmes. Vaile ainsi que Rowsell ne montrent aucun effet de cette technique de récupération sur la réponse inflammatoire. Seul Montgomery observe une très faible diminution des cytokines IL-6 et IL-10 après immersion en eau froide. Les études qui se sont intéressées à l'évolution du lactate présentent elles aussi des résultats variés. D'après Hausswirth cette dispersion s'explique principalement par les durées écoulées entre la fin de l'exercice et l'immersion. Car il semble que cette technique permet une clairance plus rapide du lactate lorsque le sujet l'applique immédiatement après l'exercice.

2.13 Impact sur la douleur :

En ce qui concerne la douleur ou la fatigue, Bailey a constaté une réduction de la perception de la douleur lorsqu'on utilise l'immersion en bain froid par rapport à une récupération passive. Les participants évaluaient leur souffrance à l'aide d'une échelle visuelle analogique allant de 0 à 10. Cette disparité persiste même 48 heures après la fin de l'exercice musculaire. D'autres recherches s'approchent de ces résultats, à l'exception de Vaile qui ne les partage pas.

Il n'y a pas de variation significative [10].

2.14 Impact sur l'œdème post exercice :

Précédemment nous avons évoqué le fait qu'un exercice musculaire intense provoque une réaction inflammatoire, entraînant une production de molécule spécifique (CK) ainsi qu'un œdème. Vaillie et al. ont mis en évidence cette œdème post-exercice (en milieu de cuisse), et ont surtout mesuré une diminution accentuée de celui-ci, chez les sujets ayant bénéficié d'une récupération par immersion. Cette différence d'évolution de circonférence de cuisse est spécialement marquée à +24h, +48h et même à +72h, donc dans ce cas l'immersion en bain froid a permis de réduire cette réponse inflammatoire. Cependant deux autres auteurs Goodall et Sellwood n'observent aucune différence d'évolution de l'œdème post-exercice].

2.15 Impact sur les facteurs forces et puissances :

Les auteurs se sont ensuite penchés sur les indicateurs de la performance que sont la force et la puissance ainsi que sur des exercices fonctionnels (sprints, vélo, etc). Un des rôles de l'utilisation de cette méthode, est de permettre un maintien ou de limiter la baisse de la performance à la suite d'exercices induisant une fatigue. Mais qu'en est-il vraiment ?

Certains ont d'abord cherché à restaurer la composante. « Force », une des caractéristiques de la contraction musculaire. Ainsi beaucoup ont quantifié cette variation en mesurant la force isométrique du quadriceps et des ischio-jambiers (genou fléchi de 70° à 90° selon les vant un exercice musculaire et après un mode de récupération Un grand nombre d'études concluent que l'immersion en bain froid ne permet pas d'atténuer la perte de force après un exercice fatiguant, car ils n'observent aucun effet significatif sur la restauration des capacités de contraction volontaire isométrique des extenseurs ou fléchisseurs de genou.]. Bailey et al. Qui n'observaient aucune amélioration sur l'extension du genou, montrent en revanche une atténuation de la perte de force isométrique de la flexion du genou après immersion en eau froide (10 minutes à 10°C) Ingram et al. Deux ans plus tard, confirment les affirmations de Bailey En ajoutant que 2

Une immersion de 5 minutes dans une eau à 10°C réduirait la perte de force isométrique des extenseurs et fléchisseurs après des exercices.

Exercices simulant un sport collectif (tableau4)

Mesure	Traitement	Pré-exercice	48h post exercice	Différence pré-post	Différence pré-post %
Extension genou	Témoin	76,4±13,9	72,2±10,7	-4,2±5,8	-5,2±8,6
	immersion eau contrastée	76,4±13,6	70,9±13,1	-6,3±5,3	-9,5±8,1
	immersion eau froide	74,6±19,1	73,4±18,5	-1,2±8,4	-2,3±10,0
Flexion genou	Témoin	56,8±11,8	52,7±10,7	-4,3±4,8	-8,4±8,1
	immersion eau contrastée	57,4±8,5	52,4±8,5	-4,7±3,0	-9,5±6,6
	immersion eau froide	55,9±13,6	55,3±15,9	-0,5±6,0	-20±8,2

Tableau 5 : Tableau récapitulatif de la force isométrique (en kg) des extenseurs et fléchisseurs de genou, avant puis 48h après exercice.

Mesure	Traitement	Pré-exercice	48h post exercice	Différence pré-post	Différence pré-post %
Extension genou	Témoin	76,4±13,9	72,2±10,7	-4,2±5,8	-5,2±8,6
	immersion eau contrastée	76,4±13,6	70,9±13,1	-6,3±5,3	-9,5±8,1
	immersion eau froide	74,6±19,1	73,4±18,5	-1,2±8,4	-2,3±10,0
Flexion genou	Témoin	56,8±11,8	52,7±10,7	-4,3±4,8	-8,4±8,1
	immersion eau contrastée	57,4±8,5	52,4±8,5	-4,7±3,0	-9,5±6,6
	immersion eau froide	55,9±13,6	55,3±15,9	-0,5±6,0	-20±8,2

Roswell puis Bailey, se sont penchés sur la possibilité de reproduire des sprints courts après une récupération par immersion. La consigne était d'effectuer le plus rapidement possible 12 sprints sur 20 mètres, chacun espacé de 20 secondes. Il n'en ressort aucune différence entre le groupe ayant pratiqué l'immersion et le groupe ayant utilisé un autre mode de récupération (immersion eau à 34°C ou passi

La puissance est un autre indicateur de performance musculaire, c'est une combinaison de force et de vitesse. Certains auteurs se sont penchés sur des

mesures de sauts verticaux (squat jump, drop jump ou même counter mouvement jump) ou des sprints courts à pieds ou en vélo, sans pouvoir statuer définitivement sur l'effet positif

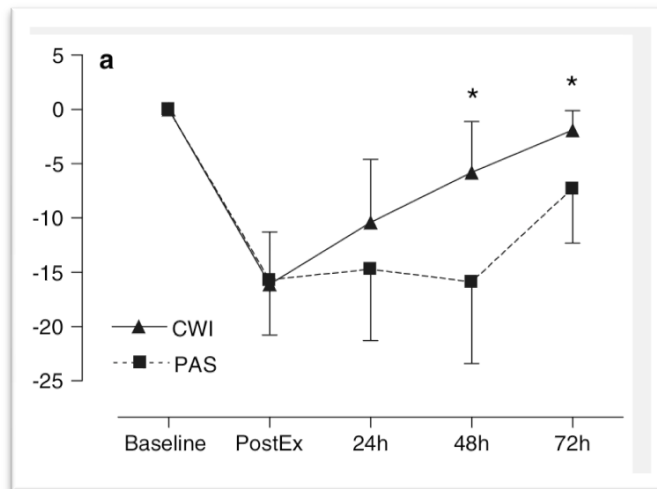


Figure5: Différence de performance lors de squat jump avant et après exercice suivi d'une récupération (PAS : passive, CWI : immersion eau froide). Exprimé en pourcentage. Vaile et al

Ont observé des résultats en faveur de l'immersion, en montrant une accélération du retour à un niveau initial grâce à l'utilisation de bains froids sur des détente verticales de type « squat jump »(non pliométrique) D'où l'objet de cette étude qui est d'observer l'impact de la récupération par immersion en eau froide sur l'exercice musculaire pliométrique lors d'un counter movement jump

2.16 Effet de la CWI sur la récupération de la performance :

De nombreuses études ont examiné l'effet de IEF sur la récupération de la performance, la plupart d'entre elles montrent que cette technique facilite la récupération de la performance (Peiffer et al. 2010 ; Rowsell et al. 2011).

L'utilisation de IEF à très basses températures n'est pas nécessaire pour faciliter la récupération de la performance. Il a été montré que l'immersion à une température de 14°C améliore la performance d'endurance (Yeargin et al. 2006). Cet effet bénéfique a été observé indépendamment du type d'immersion

(intermittent : 5 min à 10, 15 et 20°C ou continue : 15 min à 20 °C (Vaile et al. 2008). En ce qui concerne la récupération de la force, la CWI n'était pas efficace à cet égard mais des petites améliorations ont été signalées pour la restauration de la puissance musculaire (Leeder et al. 2012 ; Bleakley et al. 2012).

D'un point de vue pratique, 5 à 15 minutes d'immersion à une température de **10 à 15°C** a un impact positif sur la restauration de la performance (Versey et al. 2013). La récupération de la performance peut être également influencée par le **"timing"** de la CWI, la plupart des études mettent en place cette intervention dans les 30 minutes qui suivent l'exercice. À notre connaissance, une seule étude (Brophy-Williams et al. 2011) a examiné l'influence du moment de l'administration de la IEF sur la récupération de la performance (immédiatement et 3h après l'exercice), les auteurs n'ont pas signalé d'effet positif sur la récupération de la performance lorsque l'immersion est administrée immédiatement après l'exercice. En ce qui concerne le nombre de sessions, il a été signalé que les sessions multiples de CWI sont plus efficaces qu'une seule session sur le retour à la performance, peut-être à cause de la fatigue accumulée lors de plusieurs exercices (Rowell et al. 2011).

Les effets positifs de IEF sur la récupération de la performance ont été rapportés pour des épreuves de cyclisme, de course, d'escalade, de saut vertical et de force (Versey et Al.2013), et peuvent durer de quelques minutes à quelques jours. Un travail de synthèse (méta- analyse) (Poppendieck et al. 2013) a montré que la IEF (2,9%, $g = 0,34$) et l'exposition à la cryothérapie (3,8%, $g = 0,25$) ont un impact positif sur la récupération de la performance. Cependant, cette étude a suggéré un effet important du post-cooling sur la capacité à conserver la performance du sprint mais des effets beaucoup plus faibles pour des performances d'endurance ou de force.

2.17 Des dommages musculaires graves.

Les études scientifiques sur les effets du IEF sur les marqueurs des lésions musculaires (CK, LDH) sont peu nombreuses.

2.18 Les marques inflammatoires :

L'exposition répétée à la WBC (1 à 2 expositions / jour, 4 à 5 jours) diminue l'inflammation induite par l'EIMD en augmentant les cytokines anti-inflammatoires (IL1-ra, IL-10) et en diminuant les cytokines pro-inflammatoires (TNF-a, IL-1 β , IL-2, IL-8) et CRP.

Dès la première heure de l'exposition, les effets positifs de WBC sur la réponse inflammatoire peuvent être ressentis pendant jusqu'à deux semaines (après 20 sessions de WBC)

Le CWI réduit l'inflammation aiguë en combinant la vasoconstriction locale et la contrainte hydrostatique.

Le post-cooling réduit la teneur CRP jusqu'à 48 heures après. ;Les activités physiques.

2.5.1 Cryothérapie :

En ce qui concerne l'impact de la cryothérapie sur la récupération de la performance, les résultats sont comparés :

Certains travaux concluent à l'inefficacité de l'exposition à la cryothérapie juste après l'activité physique. Aussi, une exposition 24 heures après l'exercice ne semble pas suffisante pour recouvrer la force.

Une autre série de travaux suggère que la cryothérapie permet de recouvrer la force musculaire et que ces effets bénéfiques peuvent être observés.

rester jusqu'à 120h après l'exposition. La cryothérapie permettrait également d'améliorer l'endurance par une meilleure oxygénation musculaire et une diminution du stress cardiovasculaire.

2.5.2 Immersion en eau froide :

L'immersion au froid permet de récupérer les forces acquises lors des séances de cyclisme, de course, d'escalade, de saut vertical et de musculation. Ces bienfaits peuvent s'étendre de quelques minutes à quelques jours.

Une CWI de 5 à 15 minutes à une température de 10 à 15°C administrée 30 minutes après l'exercice physique permet une récupération optimale de la performance.

Une série de CWI à la suite d'un exercice semble toutefois apporter des avantages supplémentaires sur la restauration de la récupération

2.5.3.1 Les réactions biologiques à l'IEF :

2.5.3.2 Les réponses cardiaques :

Une vasoconstriction périphérique est provoquée par l'exposition au froid, ce qui entraîne une augmentation du volume sanguin central (Costello et al. 2015) La régulation de la fonction cardio-vasculaire est facilitée par l'exercice physique en augmentant le volume du retour veineux, de la pré-charge cardiaque et du volume d'éjection systolique (Maw et al. 2000) L'immersion sous eau froide peut également diminuer le rythme cardiaque après le refroidissement (Roberts, Muthalib et al 2015) L'augmentation du volume sanguin central grâce au post-cooling améliorerait la capacité de l'athlète à éliminer les déchets métaboliques après un exercice physique intense, facilitant ainsi sa récupération après l'effort ; La vasoconstriction périphérique due au froid combinée à

l'élévation du volume sanguin central améliorent la perfusion.

oxygénation musculaire (Roberts et al. 2015) Selon une étude récente, le volume sanguin musculaire et le temps de ré-oxygénation musculaire augmentent de façon significative après une session de CWI

Le post-cooling entraîne une réduction de FS cutanée et une augmentation du volume sanguin central (VSC), ce qui réduit le stress cardiovasculaire (diminution de la fréquence cardiaque et augmentation du volume d'éjection systolique (VES), ainsi qu'un meilleur apport d'oxygène et du substrat aux muscles (Ihsan et al. 2016)

2.5.3.1.2 Les réactions métaboliques :

Le stress métabolique causé par l'exercice physique est induit par le EIDM (White et Wells 2013) et la production accrue d'énergie mitochondriale contribue de manière significative à la production de RLO (Debold 2012) La température corporelle baisse à la suite de l'activité physique, ce qui peut réduire le métabolisme musculaire et la synthèse de l'énergie mitochondriale. Ces modifications peuvent réduire la synthèse de RLO et donc réduire le stress oxydatif et les dommages musculaires (White et Wells 2013)

Par ailleurs, des recherches ont examiné les effets du post-cooling sur le stress oxydatif. Le CE est cité. En 2009, Yanagisawa et ses collaborateurs ont mentionné le refroidissement local. Les sportifs de haut niveau ont significativement réduit leur stress oxydatif après un exercice intense en 2003. L'effet antioxydant du post-cooling s'explique par la forte stimulation du froid par les enzymes antioxydantes, notamment la superoxyde dismutase et la catalase

D'autres effets métaboliques de l'exposition au froid après l'activité physique ont été identifiés comme la stimulation de la thermogenèse (ex. exposition SE stimule la sécrétion d'irisine, une myokine agissant au niveau des tissus adipeux et favorisant la thermogenèse (Lombardi et al. 2017)

Il a été démontré que le post-cooling facilite le transport de métabolites musculaires vers la circulation sanguine grâce à la vasoconstriction cutanée provoquée par le froid (Ihsan et al. 2016) Le déplacement des liquides des espaces intracellulaires vers les espaces extracellulaires augmente le gradient osmotique (intracellulaire-extracellulaire), permettant ainsi l'évacuation des métabolites de l'espace intracellulaire vers la circulation périphérique (Stocks et al. 2004) Le post-cooling facilite la récupération en stimulant l'efflux de déchets métaboliques (Bongers et al. 2017)

2.5.3.3 Les réactions du système nerveux autonome :

En général, les exercices physiques intenses entraînent une augmentation de l'activité sympathique, ce qui se traduit par une augmentation de la fréquence cardiaque et une diminution de la variabilité. La réactivation parasympathique est aujourd'hui reconnue comme un signe significatif de la récupération (Bieuzen et al 2015) En effet, la variabilité de la fréquence cardiaque (VFC) est un indicateur caractérisant le système nerveux autonome après un effort physique

L'exposition au froid augmente le VSC par vasoconstriction périphérique induite par le froid et par redirection du sang périphérique vers le centre du corps (Mourot et al 2008) La hausse du VSC augmente le débit cardiaque et la pression artérielle, ce qui stimule l'activité des barorécepteurs artériels et des cardio-pulmonaires (Zalewski et al. 2014)

L'activité nerveuse diminue en raison de cette série d'événements.

Il y a une augmentation de l'activité parasympathique et une stimulation sympathique (Pump et al. 2001)

L'activité du système nerveux autonome est généralement étudiée par l'évolution des paramètres de la VFC. La CWI (5min à 9-15°C) est une technique de post-cooling (Stanley et al. 2012)

Choo et ses collègues. Hausswirth et al. 2013 ; Schaal et al. 2018) ou l'exposition à la cryothérapie. L'activité parasympathique est fortement augmentée en 2012 (principalement les valeurs de racine carrée des différences moyennes de l'intervalle RR (RMSSD) et

l'énergie spectrale des hautes fréquences (HF) De plus, une seule séance de cryothérapie de 2 ou 3 min à -110 °C a été mentionnée après une séance d'entraînement chez des sujets entraînés (Schaal et al.) Westerlund et al. 2006 ont constaté que l'entraînement est suffisant pour augmenter les indices de VFC (RMSSD : +78% et HF : +78% 296%), ce qui témoigne d'un meilleur fonctionnement parasympathique. Cependant, une diminution de l'activité parasympathique peut être causée par l'exposition répétée au froid (plus de 3 mois avec 3 expositions de CE par semaine) (Westerlund et al. 2006)

2.5.3.3.4 Réactions immunes :

La vasoconstriction provoquée par le post-cooling et la baisse de la température musculaire diminue la perméabilité cellulaire, lymphatique et capillaire, réduit la diffusion du liquide dans l'espace interstitiel et la formation d'oedèmes (Leeder et al. 2012 ; Ascensao et al. 2011), ce qui explique en partie la baisse de la réponse inflammatoire aiguë (White et Wells 2013 ; Ihsan et al. 2013)

Par ailleurs, la diminution de l'inflammation favorise la réduction des douleurs musculaires à apparition retardée (DOMS) (Cheung et al. 2003) La littérature explique l'effet anti-inflammatoire du post-cooling par une hausse des cytokines anti-inflammatoires et une baisse des cytokines pro-

Banfi et ses collaborateurs, 2010) D'après Stanek et ses coll. Il a été suggéré (2010) que les effets anti-inflammatoires de la CE peuvent être liés à la stabilisation de la membrane lysosomale, ce qui entraîne une inhibition significative des enzymes libérées. Cependant, l'effet a été observé après plusieurs exposés répétés de CE plutôt qu'après une seule exposition (Dugué et al. 2005 ; Lubkowska et al. 2009) Algafly et George (2007) ont constaté que le post-cooling réduit l'inflammation causée par l'exercice en diminuant le métabolisme musculaire, l'activité enzymatique, la sensibilité des récepteurs et la vitesse de conduction nerveuse. Le post-cooling a un effet anti-inflammatoire qui favorise la récupération et réduit les dommages musculaires causés par l'exercice.

2.5.3.5 Synthèse :

Les principales réponses physiologiques au IEF sont résumées dans la figure présentée ci-dessous

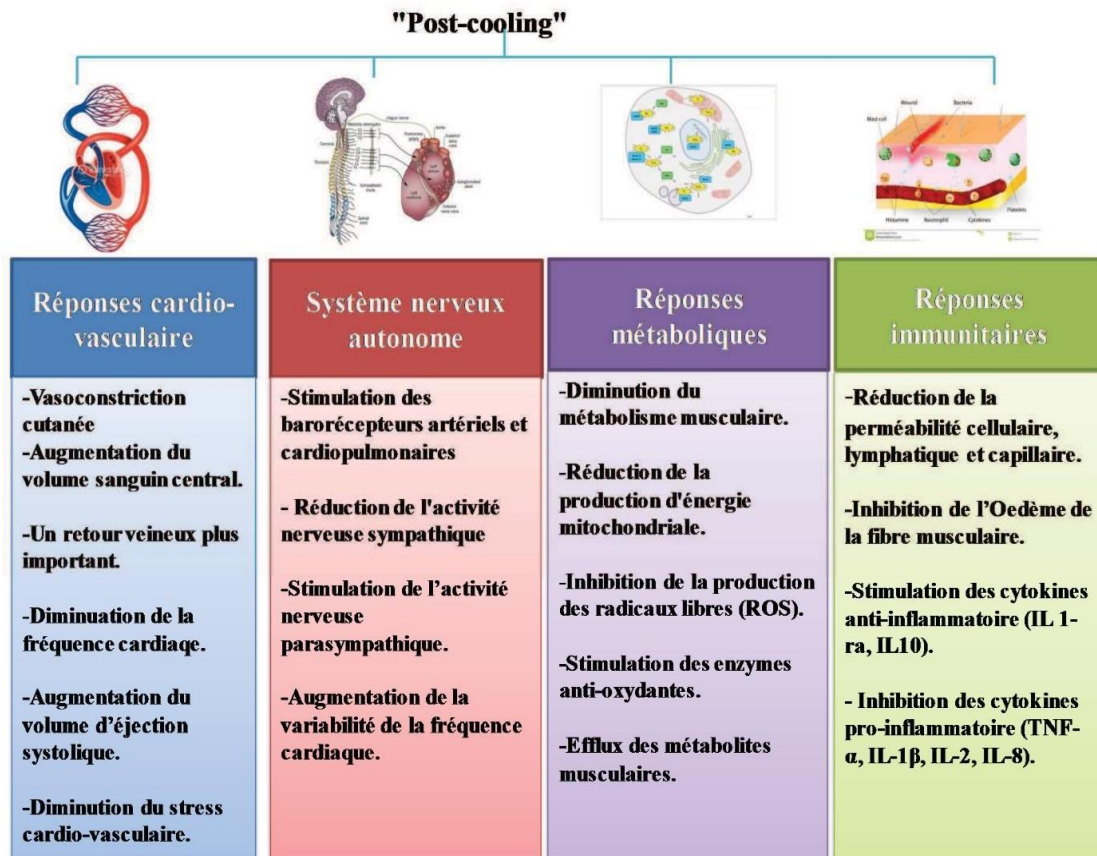


Figure 6 : Résumé des réponses physiologiques au IEF

2.5.3.3.6 Les considérations pratiques du IEF :

Les contraintes psychologiques et physiques sont élevées chez l'athlète professionnel tels que les compétitions, les médias, les spectateurs et les exigences de performance (de l'équipe et des sponsors). En effet, une récupération appropriée est indispensable pour optimiser sa performance et réussir son entraînement Dans les jours qui suivent un exercice intermittent ou un match de football, l'immersion dans l'eau froide est l'une des méthodes de post-cooling les plus couramment employées (Nédélec et al. 2013). Une enquête sur les stratégies derécupération les plus utilisées chez les équipes de football professionnelles a révélé que l'immersion en eau froide est utilisée par 88% des équipes de football professionnelles françaises (Nédélec et al. 2013).

Le IEF semble utile pour retrouver, le plus rapidement possible, le niveau de performance initial et réduire le processus inflammatoire induit par un exercice physique intense. Il a été montré que 5 à 15 min de IEF à une température de 10 à 15°C, administrée 30 minutes après l'exercice, est le protocole optimal pour faciliter la récupération (Versey et al. 2013).

Certaines marques de récupération sont positivement affectées par une seule exposition de CE, telles que l'activité du système nerveux autonome (Hauswirth et al. 2013), la douleur perçue (J. B. Ferreira-Junior et al. 2015), et la qualité du sommeil (Bouzigon et al. 2014 et l'oxydation par stress (Lubkowska et al. 2008, 2009)

2.5.3.3.7 Les limites de l'utilisation du IEF :

L'utilisation du IEF peut induire certains effets indésirables. Par exemple, la IEF réduit le flux sanguin musculaire, ce qui peut ralentir la resynthèse du glycogène musculaire après l'exercice physique (Cheng et al. 2017). De plus, une immersion à une très basse température (< 0°C) peut provoquer, dans certains cas, une arythmie cardiaque ou une perte de conscience et/ ou une hyperventilation (Mantoni et al. 2006). Il est donc conseillé de ne pas immerger le corps humain à très basses températures en particulier pour ceux qui ne sont pas habitués au CWI (Bleakley et Davison 2009).

De plus, une immersion régulière dans l'eau froide peut diminuer les modifications causées par l'activité physique. Dans cette perspective, une recherche (Yamane et al. 2006) a examiné les conséquences de l'entraînement entre une jambe et un bras de sujets plongés dans de l'eau froide, tandis que l'autre jambe et l'autre bras étaient utilisés comme témoins., après chaque séance d'entraînement (entraînement d'endurance et de musculation 3 à 4 fois par semaine pendant 4 à 6 semaines). Les effets d'entraînement étaient trois fois plus

élevés dans le groupe témoin par rapport au groupe de CWI, avec des augmentations du diamètre de l'artère fémorale dans le groupe témoin, mais pas dans le groupe froid. L'immersion régulière en eau froide peut réduire aussi les performances dans les tests de sprints répétés chez des joueurs de rugby (Higgins et al. 2011).

En effet, il semble clair que nous devons périodiser et programmer l'utilisation du froid en fonction des objectifs de l'entraînement. C'est-à-dire que dans une période où nous cherchons à créer des adaptations à court ou à long terme pour les athlètes, l'utilisation du 'cooling' ne semble pas être la technique optimale de récupération. Néanmoins, au moment où les athlètes font face à plusieurs compétitions ou entraînements dans la semaine comme la période des championnats du monde, l'utilisation du froid est bénéfique pour réduire les dommages musculaires grâce à son effet analgésique et anti-inflammatoire.

L'utilisation de la cryothérapie/cryostimulation peut avoir certaines limites incontournables. Cette intervention n'est pas recommandée chez les personnes souffrant d'hypertension artérielle en raison de l'augmentation de la pression artérielle systolique après l'exposition à la cryothérapie (Lubkowska et Szygula 2010) . Elle n'est pas recommandée aussi chez les patients présentant une maladie coronarienne, une arythmie cardiaque, des troubles circulatoires, un phénomène de Raynaud (doigts blancs), des allergies au froid ou une maladie pulmonaire (Westerlund 2009; C. M. Bleakley et al. 2014). Ces contre-indications doivent être considérées avant l'exposition au froid pour protéger la santé des athlètes ou des patients participants à cette intervention. Dans cette perspective, deux études de cas récentes, rapportent que la CE ne représente pas un traitement sans risque. La première étude a montré qu'un homme de 63 ans souffrait d'une amnésie globale transitoire, qui a duré jusqu'à 24 heures, après une session de CE (Carrard et al. 2017). La deuxième étude (Cámara-Lemarroy et al. 2017) a présenté le cas d'un patient de 56 ans ayant développé une dissection aortique abdominale après

15 sessions de CE (3 minutes par séance, -150 à -160 ° C). Ce patient a souffert d'une douleur abdominale à chaque exposition au froid. Il s'ajoute à cela d'autres limites de sécurité et de coût, en particulier pour la CP, car les sujets sont en contact direct avec l'azote qui est un gaz dangereux et cher (Bouzigon et al. 2016).

Le post-cooling peut perturber transitoirement les performances musculaires de quelques minutes à quelques heures après l'exposition au froid (Vieira et al. 2013 ; Crowe et al. 2007). Par exemple, Vieira et al (Vieira et al. 2013) ont observé que le refroidissement affecte différemment la production de la force isométrique et isocinétique. Ils ont trouvé une amélioration de la force isométrique, mais une diminution de la force isocinétique (concentrique). De plus, Dewhurst et al. (Dewhurst et al. 2010) ont constaté une diminution de la force isocinétique immédiatement après un refroidissement local des muscles. En ce sens, si l'exercice est effectué immédiatement après l'application du froid (on n'est plus dans le cadre du post cooling !), les performances physiques peuvent être diminuées, en particulier dans les exercices de haute intensité (Vieira et al. 2015). En effet, le sujet doit laisser suffisamment du temps pour réchauffer les tissus musculaires avant d'entamer l'exercice physique suivant.

Les contraintes logistiques (transport des bains d'eau, accès aux sources d'eau, accès à une CE ou CP) et l'inconfort thermique exprimé par certains athlètes face à une exposition au froid peuvent être signalés par d'autres limites du post-cooling (Clifford et al. 2017).

Chapitre 3

**Performance sportive
Et foot Ball**

3.1 Performance Sportive Et Foot Ball :

Le football est l'un des sports le plus populaire dans le monde (Arnasson et coll., 2004 ; Dunning, 1999). Durant la coupe du monde de la FIFA 1998, une estimation de 400 Millions de spectateurs ont suivi cette compétition par télévision (Shephard, 1999), bien que les footballeurs actifs Les estimations sont supérieures à 250 millions (FIFA, 2007) Selon Astrand et Rodahl (1977) et Bangsbo (1994), le football est une activité qui implique l'engagement de chaque système énergétique et se distingue par des périodes de jeu courtes et intenses, alternées par des périodes moins intenses. D'après Bloomfield et ses collègues (2007), on peut décrire le type d'exercice en football comme étant dynamique, aléatoire et intermittent, ce qui rend la condition physique des joueurs complexe.

Le temps de jeu de 90 minutes nécessite une grande quantité d'énergie pour le processus aérobie. On peut estimer que l'approvisionnement énergétique par la voie aérobie pendant le match est de 70 à 80 % . Les joueurs doivent développer une performance aérobie exceptionnelle afin de supporter la charge physiologique élevée qui caractérise le jeu de football. En même temps, les actions clés du match sont de nature explosive, démontrant ainsi l'importance de la puissance anaérobie.

De nos jours, la performance en football est de plus en plus complexe, car elle dépend de plusieurs variables, telles que la performance physique aérobie et anaérobie, la vitesse, la composition corporelle, le style de jeu, la tactique de l'équipe et les facteurs psychologiques. (Tumilty, 1993) **En termes** d'habileté, le football doit être **défini** comme un sport **nécessitant** une bonne coordination, un bon équilibre et une bonne maîtrise du ballon **avec** des sprints courts, des **variations** de direction, des tirs et des tacles (Wisloff et al., 1998) **L'étude** du profil des exigences physiques et physiologiques chez les joueurs de haut niveau permet de suggérer les orientations les **plus appropriées pour préparer le futur footballeur de haut niveau** (Cazorla et Farhi, 1998). Il est essentiel d'évaluer et de suivre régulièrement tous les paramètres qui déterminent la performance en football, afin de suivre de près l'évolution des performances des joueurs dans tous les

domaines, de renforcer les points forts et de corriger les points faibles. Au cours des dernières années, de nombreuses recherches ont étudié les traits des joueurs de football en ce qui concerne l'évolution de leur performance au cours d'une période d'entraînement spécifique. Ces recherches visaient à déterminer si l'entraînement effectué pendant la saison sportive entraîne une amélioration ou une stabilité des performances des footballeurs, en particulier sur le plan physique et physiologique. De manière générale, les résultats de ces études montrent que l'étendue des variations des facteurs de la condition physique est élevée. -s'ils ont lieu qu'elle soit grande ou réduite dépendent du niveau de jeu et de l'état de condition physique d'avant saison . **Les résultats peuvent être un élément clé dans l'établissement** d'une ligne directrice **pour** optimiser les programmes d'entraînement avant et **pendant** la saison (Magal et coll., 2009) Bien que la plupart des études aient pris en considération l'évolution des variables physiques et physiologiques au cours d'une saison sportive, très peu d'études se sont intéressées aux **Techniques essentielles pour les jeunes footballeurs, en particulier en préformation..** A partir de ces énoncés, l'objectif de cette présente étude est d'analyser les variations physiques et techniques chez des jeunes footballeurs élites algériens au cours d'une saison sportive de football

Cinétiques de récupération sont également très variables d'un match à l'autre. Pour expliquer ces différences, il faut prendre en compte certains facteurs qui peuvent influencer ces cinétiques de récupération. La partie qui suit abordera les facteurs potentiels qui influencent les cinétiques de récupération après un match.

3.2 Influence potentielle des cinétiques de récupération :

L'exercice inducteur de dommages musculaires entraîne une fatigue et la période de récupération dépend du degré de dommages musculaires induits par l'exercice (Clarkson et al., 1992) ; Clarkson and Hubal, 2002 ; Paulsen et al., 2012) Le marqueur indirect le plus efficace pour évaluer la récupération est le niveau de force (Warren, 1999) Ainsi, plus la perte de puissance sera grande, plus la durée de la récupération sera longue. Toutefois, la variabilité entre les individus est élevée, ce qui peut entraîner une diminution de 55% chez un sujet et de 20% chez un autre (Gulbin et Gafney, 2002) Le niveau initial de force , le niveau d'entraînement , l'expérience , l'âge , le contexte du match , les états psychologiques ainsi que l'interaction entre la perception de l'effort et les douleurs musculaires

3.2.1 La force initial :

Conclusions de Sayers et al. 2003) sont particulièrement intéressants. L'objectif des auteurs était d'étudier les variables susceptibles d'expliquer la variabilité des réponses à la suite d'un exercice inducteur de dommages musculaires. Auparavant, trente-six sujets ont effectué un exercice excentrique des fléchisseurs du coude, composé de deux séries de 25 répétitions. Par la suite, selon leur réponse à l'exercice, vingt sujets étaient retenus pour la suite de l'étude. Les sujets ont été classés en deux groupes selon la méthode suivante : un groupe était composé de 10 sujets ayant la diminution de force la plus importante après exercice (répondeurs) tandis qu'un autre groupe était composé de 10 sujets ayant la diminution de force la plus faible après exercice (non répondeurs) La hauteur

Notre Analyse de la taille de l'effet ($ES = 1,75$; Intervalle de confiance à 90% ($IC_{90\%} = 0,66$ à $2,70$) montre une différence importante entre le groupe des répondeurs (moyenne écart type ; $82,7 \pm 6,4$ N.m) et le groupe des non répondeurs ($97 \pm 9,6$ N.m) Leurs résultats montrent que la réponse à l'exercice dépend fortement du degré de force développé au cours de l'exercice. Le pic de force moyen atteint lors de l'exercice était

donc inférieur dans le groupe de sujets répondeurs par rapport au groupe de sujets non répondeurs (erreur moyenne standard ; $68,9 \pm 5,9$ contre $74 \pm 7,1$ N.m pour la première série ; $50,5 \pm 5$ contre $60,8 \pm 5,8$ N.m pour la deuxième série ; $p < 0,001$) Les sujets qui pouvaient acquérir une grande force pendant l'exercice étaient moins fatigués après l'exercice. Les résultats et la récupération après un exercice de force ont été comparés entre des sujets très entraînés et des sujets non-entraînés (Ahtiainen et Häkkinen, 2009) Chez les entraînés, le niveau initial de force isométrique des extenseurs du genou était supérieur de 29% ($p < 0,001$) par rapport aux non-entraînés. . En normalisant les données en pourcentage de la force initiale, il n'y a pas de différence entre les deux groupes dans l'évolution du niveau de force.

pendant 48 heures. Ces résultats ne sont pas ceux de Sayers et al. Les membres sollicités (membres inférieurs contre membres supérieurs), le type d'exercice (exercice global de musculation contre exercice isolé) et le niveau des sujets (entraînés et non entraînés contre uniquement non entraînés) pourraient expliquer cette situation. La limite principale de cette expérimentation est que le nombre de sujets était limité à 4 par groupe expérimental seulement. Après avoir calculé la puissance statistique de la force.

La perte d'isométrique après l'exercice était faible (.puissance = 0,55) Statistiquement, la taille de l'effet et les intervalles de confiance (IC) n'ont pas été calculés ce qui serait plus approprié pour ce type de protocole

Ces résultats suggèrent que le niveau de force initial et le niveau de force acquis au cours de l'exercice peuvent affecter les cinétiques de récupération. Dans le domaine du travail.

Le football n'a pas encore étudié le lien entre les cinétiques de récupération et le niveau de force, mais une étude a étudié le lien entre le niveau de force des membres inférieurs sur un demi-squat et les niveaux de créatine kinase 48 heures après un match (Owen et al., 2015) Pendant une saison complète, des footballeurs professionnels ont pris ces mesures. La période allant du mois d'août au mois de septembre était répartie en trois phases de 8 semaines chacune. Il y avait une corrélation entre le niveau de force développé lors d'un mouvement de demi-squat et les niveaux de [CK] pour chaque phase.

Les résultats montrent une relation modérée lors de la phase 1 (coefficient de corrélation $r = -0,46$) et une relation importante lors de la phase 2 ($r = -0,51$) ainsi qu'à la phase 3 ($r = -0,66$) Toutefois, l'absence d'IC ne permet pas de déterminer la probabilité de contenir la valeur du paramètre correspondant à la population. À mesure que le niveau initial de force augmente, les concentrations en créatine kinase diminuent. Ces résultats s'alignent sur ceux d'une étude menée sur des jeunes joueurs de rugby qui indique que les joueurs qui squattent mieux ont des concentrations plus faibles en créatine kinase 48 heures après un match. En somme, la puissance de départ pourrait affecter les dynamiques de récupération post-match. Comparativement aux joueurs les plus faibles, les joueurs les plus forts musculairement semblent récupérer plus rapidement. Il reste à confirmer cette hypothèse..

3.2.2 Le niveau d'entraînement :

La consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}) est fréquemment utilisée pour évaluer le niveau physique d'un individu (Bassett and Howley, 2000). Ce facteur peut avoir une influence sur la performance en sports collectifs puisque certaines études montrent une relation positive entre performance lors d'un test de répétition de sprints et VO_{2max} (Dupont et al., 2005). Un lien peut également exister entre capacité à récupérer et performance aérobie. Ainsi, des joueurs ayant un plus haut niveau de performance lors

d'un test Yo-Yo sont susceptibles d'accélérer les cinétiques de récupération de la performance lors d'un saut en contremouvement (Johnston et al., 2015). D'autres études sont nécessaires afin d'analyser le lien entre le niveau d'entraînement et les cinétiques de récupération. La familiarisation et l'habitude à réaliser un exercice peuvent également influencer les cinétiques de récupération (McHugh et al., 1999). Il y aura moins de dommages musculaires si l'exercice excentrique est réalisé au préalable, en comparaison avec une première réalisation (McHugh et al., 1999 ; McHugh et al., 2003) La familiarisation avec un exercice entraîne une baisse de force moindre immédiatement après exercice et un retour plus rapide aux valeurs initiales de la performance en force (Nosaka and Clarkson, 1995 ; Howatson et al., 2009). Newton et al. (2008) ont comparé les réponses de la fonction neuromusculaire suite à exercice inducteur de dommages musculaires entre des sportifs entraînés en force et des personnes non-entraînées. Les résultats indiquent une baisse de force isométrique et une baisse de force concentrique plus importantes immédiatement après exercice chez les sujets non-entraînés. De plus, au cours des 5 jours qui ont suivi l'exercice, le niveau de force était significativement plus élevé chez les entraînés ($p < 0,05$). Trois jours après exercice, les sujets entraînés ont totalement récupéré leur niveau initial de force, alors que 5 jours après exercice les sujets non-entraînés n'avaient toujours pas récupéré. Par conséquent, le niveau d'entraînement initial aurait une influence sur les cinétiques de récupération. Dans le cas de joueurs participant à plusieurs matches par semaine, l'habituelle exposition à ce type d'effort pourrait avoir un effet protecteur.

Le fait d'être exposé à une charge inhabituelle pourrait augmenter le risque de blessures chez les sportifs (Blanch et Gabbett, 2015 ; Gabbett, 2016). La charge aigüe correspond à la charge cumulée sur une semaine et la charge chronique correspond à la charge cumulée sur quatre semaines. L'augmentation brutale de la charge d'entraînement, c'est à dire lorsque le ratio charge aigüe : charge chronique est supérieur à 1,5 entraînerait un niveau de fatigue plus important que d'habitude. La figure 2 présente un exemple d'évolution du ratio charge aigüe : charge chronique.

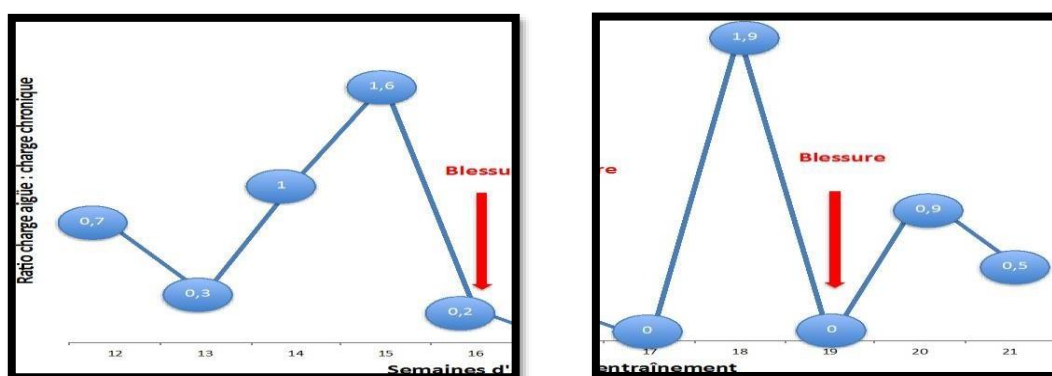


Figure7: Diagramme montrant l'évolution du ratio charge aigüe : Un joueur de foot Ball.

Une blessure apparaît sur cette figure après une augmentation brutale de la ration dont la valeur dépasse 1,5. Le risque de blessures pourrait être accru en raison du nombre de jours de récupération insuffisants suite à ce pic de charge (Murray et al., 2014) Ces recherches suggèrent que l'augmentation brutale de la charge d'entraînement implique une récupération accrue afin d'éviter une augmentation du risque de blessures.

En somme, toutes ces informations laissent entendre que le degré d'entraînement et la charge d'entraînement peuvent avoir une incidence sur la récupération musculaire. La récupération est plus rapide en étant familiarisé et en ayant l'habitude de faire un exercice.

3.3 Le joueur et son expérience :

L'accumulation Le stress physiologique accumulé au cours d'une saison sportive peut être prédisposant

Les joueurs de football sont incapables de faire face aux exigences de l'entraînement et des matches, ce qui peut compromettre leur performance et leur récupération (Silva et al., 2014)

Dans une période où il y a beaucoup de matchs (par exemple trois matchs par semaine), la performance en match serait plus faible chez les joueurs moins expérimentés, ce qui pourrait être lié à une moindre capacité de récupération L'efficacité de la récupération peut varier

entre des joueurs évoluant vers le haut niveau et des joueurs ayant plusieurs années d'expérience. C'est le cas notamment avec l'étude marqueurs physiologiques et en particulier la créatine kinase (Hunkin et al., 2014) Les stress métabolique et mécanique ressentis par

les footballeurs moins expérimentés peuvent causer des perturbations plus importantes pendant des périodes où la charge de travail est importante (Silva et al., 2014) Les joueurs

les moins expérimentés ont des niveaux de CK plus élevés au cours d'une saison. Il s'agirait d'une perte musculaire résiduelle due à une phase d'entraînement intense (Hunkin et al.,

2014) En effet, le passage des catégories de jeunes à la catégorie senior ou le passage d'un niveau amateur à un niveau professionnel entraîne une charge plus importante en

entraînement et en match La figure 2 montre que si le rapport charge aigüe/charge chronique est supérieur à 1,5, le risque de blessures peut augmenter. Durant les premières années de

l'entraînement, les adaptations physiques et physiologiques permettent de développer une meilleure capacité à intégrer les exigences du match et de l'entraînement (Fortington et al.,

2016) Les joueurs les plus expérimentés sont probablement plus capables de supporter des charges physiques importantes que les joueurs les moins expérimentés (Hunkin et al., 2014)

Par ailleurs, les joueurs les plus expérimentés ont acquis un niveau tactique et une intelligence de jeu plus élevés tandis que les moins expérimentés ont tendance à faire plus

d'efforts, ce qui entraîne un risque accru de blessures et un ralentissement des cinétiques de récupération (Fortington et al., 2016) L'expérience du joueur semble avoir une influence sur

sa capacité à récupérer. Les joueurs les plus expérimentés ont une récupération plus rapide

que les moins expérimentés. Ceux qui jouent le plus à un niveau donné sont les joueurs expérimentés. Les cinétiques de récupération peuvent également être affectées par l'expérience de jeu, qui n'est pas nécessairement liée à l'âge. C'est ce dont nous allons parler dans la prochaine partie.

3.3.4 Age biologique :

Si l'impact des blessures musculaires à la suite d'un exercice peut être identique selon l'âge, la récupération ou la réparation du tissu musculaire semble plus lente chez les joueurs plus âgés (Easthope et al., 2010 ; Brisswalter et Nosaka, 2013)

Les résultats de la récupération de la force maximale volontaire et de l'endurance de force peuvent être affectés par l'âge (Mc Lester et al., 2003 ; Easthope et al., 2010)

L'âge n'apparaît pas comme un facteur influençant les cinétiques de récupération lors d'un exercice isolé lorsque le niveau initial de force est plus élevé chez les joueurs les plus jeunes par rapport aux seniors pour un niveau de force identique. Les joueurs plus âgés ont des cinétiques de récupération de la force musculaire plus lentes lors de la répétition d'un exercice. La participation à un exercice (par exemple, un match) aura moins d'effet protecteur que chez les joueurs plus âgés par rapport aux joueurs plus jeunes. En même temps, si l'entraînement régulier augmente la résistance du muscle après un exercice inducteur de dommages musculaires, ce processus adaptatif est ralenti avec l'âge.

On peut examiner les différentes cinétiques de récupération en fonction de l'âge en comparant des variables telles que le temps nécessaire pour réparer les changements structurels et fonctionnels liés à l'exercice.

La vitesse avec laquelle un tissu cicatrise suite à un exercice et se prépare à un autre va influencer la fréquence et l'intensité du stress (Fell et Williams 2008). La récupération plus longue chez les joueurs plus âgés peut être un ralentissement de la cicatrisation et des adaptations musculaires suite à un exercice inducteur de dommages musculaires. Après un exercice inducteur de dommages musculaires, la contraction musculaire se prolonge plusieurs jours après l'exercice et perdure plus longtemps chez les sportifs les

plus âgés. L'explication principale des perturbations des paramètres contractiles pourrait être une altération du couplage excitation-contraction attribuée à plusieurs mécanismes, comme une réduction de l'élimination du calcium du réticulum sarcoplasmique et une réduction de la vitesse ou de la force des ponts actine myosine. La détérioration des mécanismes de synthèse protéique pourrait être responsable de la récupération plus lente des joueurs plus âgés après un exercice.

Les études sur les différences en substrats énergétiques soulignent les différences en fonction de l'âge pour les cinétiques de récupération à court terme de certains substrats énergétiques. Un exercice excentrique chez un sujet âgé peut retarder la resynthèse du glycogène. Un exercice inducteur de dommages musculaires ralentit la resynthèse du glycogène et augmente les niveaux de GLUT-4. Cela peut aider à retrouver l'énergie chez les joueurs plus âgés.

Les joueurs plus âgés peuvent récupérer retardement leur muscle en utilisant des cellules satellites. La voie pour signaler la protéine mTORC1 (de l'anglais mammalian target of rapamycin complexe 1)

Chez les mammifères, la rapamycine peut être perturbée par l'âge, entraînant une baisse de la phosphorylation de la kinase p70S6K1, qui est responsable de la synthèse protéique au niveau des ribosomes (Doering et al., 2015). Avec l'âge, le nombre de cellules satellites et leur réponse à des stimulus peuvent perturber la régénération musculaire chez les joueurs les plus âgés.

Les réponses inflammatoires inadaptées suite à un exercice peuvent expliquer la détérioration de la masse et de la fonction musculaires avec l'âge. Les joueurs les plus âgés peuvent avoir une inflammation et un stress chronique. Les joueurs les plus âgés ont des neutrophiles circulants et de concentrations en IL-6 dans l'heure qui suit l'exercice et il est possible que ces niveaux plus faibles soient liés à une inflammation chronique. L'inflammation chronique limite la capacité des cellules immunitaires à répondre à un stimulus inflammatoire. En plus, si le muscle squelettique diminue avec l'âge, cela peut empêcher la reconstruction musculaire après des lésions. Les

macrophages stimulent la régénération musculaire en régulant l'expression des cellules pro-inflammatoires qui stimulent la phagocytose, laissant place aux cellules anti-inflammatoires qui stimulent la myogenèse, la croissance fibrillaire et le recrutement des cellules satellites.

Les rythmes de récupération pourraient varier en fonction de l'âge des joueurs. Ce ralentissement semble être dû à une diminution de la respiration du glycogène, de la synthèse protéique et de la vitesse de cicatrisation. Contrôle hormonal

Le modèle de dommages musculaires montre que le stress mécanique est le facteur principal qui cause des dommages musculaires .

Les lésions musculaires causées par l'activité physique sont principalement dues à la contrainte mécanique de la contraction excentrique.

entraîne la déformation de certains sarcomères intramuscles au-delà de leur longueur de repos Des dommages sont subis à l'ultrastructure du muscle, à la matrice extracellulaire et probablement aux capillaires

La libération des médiateurs de l'inflammation dans le tissu musculaire est également stimulée par les dommages musculaires (Malm, 2001)

L'inflammation aiguë aide à éliminer les tissus nécrosés ou les débris cellulaires, ce qui permet de réparer les fibres musculaires endommagées, les vaisseaux sanguins, les fibres nerveuses et la matrice extracellulaire (Cannon et St Pierre, 1998) Les cellules satellites, qui se trouvent entre la lame basale et le sarcolemme, sont essentielles au processus de régénération musculaire .

Face à un traumatisme musculaire, ces cellules sont activées, multipliées et migrent vers l'emplacement des lésions musculaires.

.Selon le degré d'altération du muscle, les cellules satellites vont fusionner avec la fibre détruite ou fusionner entre elles pour créer une nouvelle fibre La testostérone, l'hormone de croissance et l'IGF-1 stimulent et prolifèrent directement ces cellules satellites. En présence de ces hormones, la régénération musculaire est accélérée et un milieu anabolique pourrait se répercuter de manière bénéfique sur les cins en augmentant les concentrations sanguines en testostérone, ce qui stimule l'activation et la prolifération des cellules satellites. Il semble donc que l'augmentation des concentrations hormonales

puisse accélérer la récupération après un exercice inducteur de dommages musculaires
Après un exercice, la synthèse protéique est excitée par des facteurs de signalisation.

L'enzyme mTorC1 est une protéine centrale d'une voie de signalisation qui intègre les signaux nécessaires pour exprimer les ARN messagers responsables de la synthèse protéique L'exercice de force augmente les concentrations et est donc un stimulateur de la synthèse protéique Le pic de la synthèse protéique musculaire induite par l'exercice est plus tardif et apparaît plus tard dans les heures qui suivent l'exercice chez les non-entraînés que chez les entraînés Il est proposé que l'entraînement en force provoque des modifications du processus de régulation de la synthèse protéique musculaire Les facteurs hormonaux et en particulier la testostérone, l'hormone de croissance et l'IGF-1 En bref, la testostérone, l'hormone de croissance et l'IGF- pourraient jouer un rôle dans la récupération après un match. La synthèse protéique et la stimulation de la cicatrisation musculaire sont les moteurs de son action. Les concentrations hormonales peuvent augmenter lors de certaines séances de musculation Cependant, aucune étude ne concerne les effets d'une séance de musculation qui augmente les concentrations hormonales sur les cinétiques de récupération.

3.3.5 Le rôle et les taches physiques dans le match :

L'amplitude des dommages musculaires lors d'un exercice inducteur de dommages musculaires dépend de l'intensité, du nombre de répétitions, de la vitesse et de la longueur d'étirement des contractions excentriques D'après plusieurs études, lorsque le nombre de contractions excentriques est plus élevé, l'amplitude

En outre, plus les contractions excentriques sont intenses, plus les dommages musculaires sont importants

Le nombre de contractions excentriques a aussi un impact sur les cinétiques de récupération plus il y aura de répétitions, plus le retour à un niveau de force initial sera faible Il en va de même pour les activités impliquant une force musculaire, la corrélation

entre les actions de football effectuées pendant un match et les temps de récupération. Une analyse vidéo a été réalisée lors de quatre matches dans cette étude. Dix joueurs de football ont participé à l'étude. Pendant les 72 heures qui ont suivi le match, les auteurs ont évalué la performance en saut, la puissance et la vitesse lors d'un sprint sur tapis roulant non motorisé, la force isométrique des ischio-jambiers, les concentrations en créatine kinase et des signes tels que les douleurs, le sommeil, la fatigue, le stress et la perception de la récupération. Les résultats ont démontré une relation significative entre le nombre de sprints courts (>5m) et le degré douleur 48h ($r = 0,744$; IC95% : 0,35 à 0,91 ;)

$p < 0,01$) et 72h (72h = 0,57; IC95% : 0,05 à 0,84; $p < 0,05$) après la séance. Le nombre de changements de direction est également corrélé avec la baisse de performance en saut 24h après match ($r = -0,55$; IC95% : -0,84 à -0,03 ; $p < 0,05$)

La variabilité du nombre d'actions à forte intensité est cruciale, puisqu'elle se situe entre 16 et 30%. Cette variabilité est en relation avec le niveau de l'adversaire, le système de jeu et les caractéristiques physiques des joueurs.

Selon le contexte du match, l'effort effectué sera différent et, par conséquent, l'ampleur des lésions musculaires sera également modifiée car une diminution de force plus importante entraîne un temps de récupération plus long (Ce qui aurait un impact sur les cinétiques de récupération).

Bref, l'activité effectuée pendant le match est un élément qui affecte les cinétiques de récupération. Plus l'activité en compétition est importante, plus le temps est nécessaire.

La durée de récupération requise pour bien récupérer est longue. Cependant, il n'y a pas de même activité pour tous les joueurs lors d'un match. Les efforts effectués varient selon le poste, le système de jeu et/ou la stratégie, ce qui peut affecter les cinétiques de récupération.

3.3.6 Joueur est son role dans le match :

On a utilisé jusqu'à présent des mesures indirectes de la charge de travail telles que la distance totale parcourue ou celle parcourue à différentes intensités, calculées par des systèmes d'analyse semi-automatisés, pour évaluer l'activité du joueur lors d'une compétition. D'autres instruments tels que les GPS (Global Positioning System) ou la LPM (Local Position Measurement) permettent également d'acquérir des informations sur le travail effectué lors d'un match. L'étude du match permet de rendre compte des contraintes physiques des joueurs en football.

Les analyses de match indiquent que les joueurs de football de haut niveau parcourent en moyenne 9 et 14 km et leur vitesse de course peut aller jusqu'à 36 km.h⁻¹. L'activité Relation directe avec le rôle occupé par le joueur. En analysant 20 matches de la Ligue espagnole et 10 matches de la Ligue des Champions en utilisant un système d'analyse semi-automatisé on constate que les défenseurs centraux ont moins de parcours que les autres postes. La plus grande distance parcourue est celle des milieux de terrain axiaux et excentrés. Dans le cas de courses à forte vitesse (19,1 à 23 km.h⁻¹), les milieux excentrés parcourent la distance la plus longue. Pour les sprints (> 23 km.h⁻¹), les défenseurs latéraux, milieux excentrés et attaquants de pointe sont les meilleurs joueurs. La plus grande distance est parcourue. Ces résultats sont confirmés par l'étude.

s'intéressant aux efforts sprint effectués en fonction du poste. Analyser l'activité à haute intensité et en sprint selon la position des joueurs permet de mettre en évidence des disparités entre postes. Les milieux latéraux, attaquants et défenseurs excentrés sont plus éloignés des défenseurs centraux et axiaux. Pour les sprints de 24 km.h⁻¹, les défenseurs latéraux, les milieux excentrés et les attaquants de pointe parcourent la plus grande distance. Les attaquants et les milieux excentrés parcourent le plus de sprints dont la distance est comprise entre 10 et 20m et dont la durée est inférieure à 5 secondes. Les sprints les plus longs sont ceux qui ont une distance supérieure à 20m et une durée supérieure à 5 secondes.

L'analyse des efforts des joueurs devrait inclure les accélérations, les décélérations ; les contacts avec les adversaires, les sauts et les tacles. Ces interventions provoquent des

lésions musculaires et leur fréquence peut influencer sur la durée de récupération totale après une compétition. Les cinétiques de récupération pourraient être affectées par le poste de jeu. Le nombre d'actions inductrices de dommages musculaires lors d'un match est corrélé avec la diminution de la fonction musculaire. Le nombre et le type d'actions peuvent varier d'un poste à l'autre, ce qui peut entraîner des dommages musculaires, ce qui peut également affecter les cinétiques de récupération en fonction du poste.

Bref, le travail effectué pendant une partie est différent d'un poste à l'autre. Dans ce cadre, les actions inductrices de blessures musculaires peuvent également varier, affecter le niveau de fatigue post-match et, par conséquent, les cinétiques de récupération.

3.3.7 Les circonstances d'un match :

La localisation du match peut influencer la performance sportive. Dans ce modèle, la performance et la localisation du match sont influencés par trois facteurs : la localisation du match, l'état psychologique et le comportement. Le public, le voyage et la familiarisation avec le lieu influencent la performance. Malgré l'avantage de jouer à domicile sur la performance sportive, l'influence de la localisation du match sur les cinétiques de récupération n'a pas encore été discutée dans la littérature scientifique.

Le fait de jouer à domicile peut affecter la santé du sportif. ont montré une meilleure confiance en soi et une meilleure efficacité lorsque les matchs sont joués à domicile.

L'étude de l'impact de la localisation du match sur l'anxiété, la confiance en soi et l'humeur de sportifs avant la compétition. Les résultats montrent que les joueurs ont une meilleure confiance en soi et une plus de vigueur lors des compétitions à domicile. Ils ont moins de stress, de colère, de fatigue et d'anxiété mentale. Le public peut améliorer la performance des sportifs évoluant à domicile.

Le match extérieur peut aussi affecter le sommeil et la fatigue causée par le voyage. Les sportifs de haut niveau ont souvent du mal à voyager pendant des compétitions. La fatigue du voyage peut s'accumuler pendant une saison, ce qui ralentit la capacité du sportif à récupérer. La répétition de matchs pendant une saison.

Le stress du voyage peut entraîner un manque et une perturbation du sommeil.

La fatigue du voyage est due à la distance et à la fréquence des voyages réalisés pendant une saison. En 2015, Fowler et al. ont examiné comment une simulation de vol international (9h et 13h) affecte le sommeil et la performance lors d'un exercice de répétition de sprints. Les participants étaient dans une cabine qui respire doucement, avec un pH de 0,17% et des conditions de confort comme un avion pour voler. Nous, les gens, vous devez être très intéressés(e) par cette expérience.

La performance en répétition de sprint est diminuée le jour suivant la simulation de vol international.

On a seulement évalué les effets du voyage pour un vol unique, pas pour plusieurs vols en une journée ou une semaine. L'augmentation du nombre de voyages par semaine ou saison pourrait affecter la récupération. Il faut faire des recherches pour confirmer ou non cette hypothèse.

En résumé, jouer à un match à l'extérieur pourrait causer des problèmes de récupération car les facteurs psychologiques et environnementaux peuvent affecter la récupération. Le voyage pendant la nuit peut aussi influencer la qualité et la quantité de sommeil. La récupération est donc nécessaire.

3.3.8 facteurs Psychologies :

Les facteurs psychologiques peuvent aussi jouer un rôle dans les processus de récupération après un match. Les indicateurs de l'état d'esprit, du stress ressenti et de la perception de la récupération sont bénéfiques pour l'évaluation des joueurs et peuvent influencer les cinétiques de Réhabilitation post-match

Les cinétiques de récupération d'un stress chronique après un exercice inducteur de dommages musculaires ont été étudiées par Stults-Kolehmainen et al., (2014) Les 31 participants ont été répartis en deux groupes après avoir rempli un questionnaire d'évaluation du niveau de stress : le stress élevé et le stress faible. Pendant les 96 heures qui suivaient l'exercice, le niveau de force a été évalué toutes les 24 heures. Leurs résultats ont montré que la récupération de la force musculaire était plus lente chez les sujets stressés. Les résultats ont donc démontré que le stress chronique modifie les cinétiques de récupération de la force après un exercice inducteur de dommages musculaires en augmentant la période récupération totale

La récupération et la performance lors du match suivant peuvent également être affectées par le discours prononcé par les joueurs. Les stratégies de récupération comparées avec un retour d'information de l'entraîneur positif ou négatif peuvent avoir un impact sur les réponses physiologiques après une compétition En particulier la

partage de vidéos montrant des cas positifs liés à un retour positif de l'entraîneur

une vidéo de situations négatives avec un feedback négatif de l'entraîneur pourrait avoir des effets bénéfiques sur les sécrétions hormonales. La sécrétion de testostérone, impliquée dans le processus de cicatrisation musculaire, pourrait être améliorée grâce à la diffusion de vidéos montrant les joueurs dans des situations favorables. Ces résultats laissent entendre que les réponses physiologiques peuvent être modulées par une exposition à un événement stressant ou perçu comme tel. Le match peut aussi affecter les sécrétions hormonales. Après une défaite, les taux de testostérone peuvent augmenter ou rester constants et le taux de testostérone peut affecter l'implication dans une nouvelle compétition. Le résultat d'un match peut également influencer l'humeur et les cinétiques de récupération. Les facteurs psychologiques et le temps nécessaire pour reprendre l'activité après une blessure sont liés temporellement. La réadaptation totale est liée aux réactions psychologiques d'un athlète avant une intervention chirurgicale. Les facteurs psychologiques jouent donc un rôle essentiel dans la récupération et la confiance en soi est un paramètre prédictif d'une récupération objective et subjective de la fonction neuromusculaire, le retour au jeu après une blessure peut être influencé par trois facteurs tels que la crainte de se blesser à nouveau, la volonté de reprendre le sport et la confiance en soi. Les facteurs psychologiques de récupération : si un joueur a moins de risques de se blesser à nouveau, un fort désir de retour au sport et une perception positive de l'évolution de la blessure, il pourrait reprendre le jeu plus rapidement. Les autres

Non seulement les concentrations en hormones impliquées dans le processus de cicatrisation, mais aussi la vitesse de récupération peuvent être affectées par des aspects psychologiques.

3.3.9 Interaction entre perception de l'effort et douleurs :

Les 3.3.9 les échanges entre l'effort et la douleur .

Les choses qui ne peuvent pas dire comment on fait le travail ne sont pas claires

La perception de l'effort implique l'intégration de multiples signaux associés. Les signaux peuvent aussi influencer la performance lors d'un exercice. Certains modèles théoriques

montrent que la perception de l'effort est d'abord un système qui prépare les effets du travail en utilisant des feedbacks de différentes parties du corps. En utilisant une commande prévue pour surveiller les mouvements, on contrôle le recrutement musculaire en réponse à des réactions de différents systèmes physiologiques.

Après un match, les douleurs musculaires peuvent persister. Ce signal pourrait aussi aider le cerveau à réguler la performance et à ne pas affecter l'homéostasie. La perception de l'effort d'un match peut affecter la récupération et la performance musculaire, en particulier en amont du match suivant.

Même si le niveau de douleur musculaire est variable, l'utilisation de stratégies de récupération limitées pourrait aider à accélérer la récupération en se concentrant plus dur. La récupération peut être affectée par des facteurs biologiques, physiques et psychologiques. Chaque facteur semble avoir une influence différente sur les taux de récupération. Certains éléments pourraient être plus forts et aider à récupérer. Par exemple, l'activité en match dépend du poste et de son âge. Le niveau de force initiale influence la récupération après un exercice inducteur de dommages musculaires. L'entraînement permet de réduire la force et de récupérer plus vite. Le joueur peut considérer comment les cinétiques de récupération peuvent varier en fonction de son âge et de sa capacité. Bien que l'âge ne change pas beaucoup les compétences pour récupérer, l'expérience du joueur et la charge d'entraînement sont bons pour la récupération. Le contexte du match, à cause de la localisation et du niveau de l'adversaire, peut varier les réponses à l'exercice et de la récupération. Cela vient du fait que l'on se sent mal et que les gens peuvent déplacer à cause de la façon dont on récupère, mais aussi des problèmes d'humeur.

3.4 les capacité et les Performances sportives :

Le mot performance est issu du vieux français.

Performer signifie faire, exécuter et terminer, tout en se concentrant sur le résultat final.

Dans le sport, il est important de trouver un bon résultat. Dans le sport de haut niveau, elle est l'âme même de ce qui le distingue du monde amateur. Platonov pense que la performance sportive est une façon de progresser d'un individu dans une discipline à un moment donné. Les sportifs de haut niveau ont des performances supérieures que celles de leurs homologues amateurs.

De nombreux éléments font appel à des capacités pour réussir.

Demandes de services. Elles sont différentes en fonction de la façon dont on fait, comme le travail, la force, la souplesse, la coordination, les capacités à se concentrer, la motivation, les pensées, la constitution et l'environnement.

La performance sportive se fait en vérifiant et en ajustant toutes les caractéristiques. Le sportif est entouré de différents spécialistes pour pouvoir les activer. Il est important de parler ensemble pour trouver la meilleure charge de travail. Cela permet d'éviter des problèmes de performance et de performances moindres, mais surtout le surentraînement qui peut causer des blessures.

Certains muscles seront fatigués lorsque vous jouez ou disputez. Cela peut causer des problèmes, comme la fatigue. La fatigue va aussi changer l'adresse, la technique et la lucidité. Les joueurs peuvent faire plus d'erreurs à ce moment-là.

Bishop et ses collègues ont dit que la période de récupération est une période qui prend plus de temps pour améliorer les performances futures. C'est pourquoi, compte tenu des enjeux qu'elle incarne, repousser la fatigue et augmenter la récupération sont devenus des enjeux capitaux dans le sport. Il est important de bien préparer tous les facteurs mentionnés ci-dessus pour atteindre une bonne performance.

La charge d'entraînement est le travail et la récupération. L'intensité et la durée du travail dépendent du volume de travail. La durée et la nature de la récupération seront fixées. Il est important de faire cela en deux moments : entre les séries d'exercices et les blocs d'entraînements. Dans le sport de haut niveau, il y a beaucoup de demandes chaque jour et cela est important pour garder le capital physique et améliorer les performances.

La récupération consiste à avoir des capacités physiques et psychiques.

De nos jours, il y a de nombreuses techniques disponibles. Certaines sont plus basées sur l'empirisme, les modes ou les croyances sans preuve scientifique. Pour faire des choses ?

Par exemple, un exemple. Il est important de savoir comment améliorer la récupération de l'argent.

La fonction musculaire chez le footballeur de haut niveau ? La cryothérapie aide les athlètes à se sentir moins inconfort après une séance d'entraînement intense.

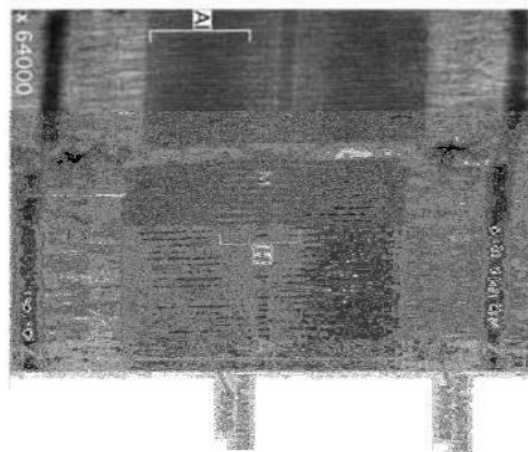
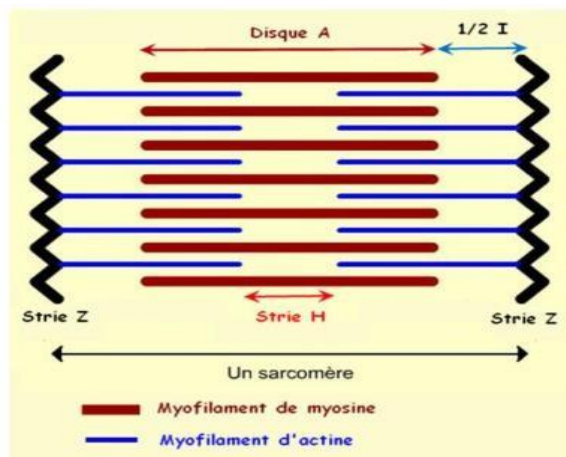
Rappels pour évaluer la façon dont les musculaires se déplacent.

3.5 Mécanisme de la contraction musculaire :

Classiquement le muscle strié squelettique est décrit comme étant constitué de faisceaux, puis de fibres, enfin de myofibrilles. Les myofibrilles contiennent les sarcomères, unités contractiles du muscle. **Elles sont toutes renfermées** dans des **structures** fibreuses (aponévroses).

Observés au microscope électronique les sarcomères sont formés d'alternances de bandes sombres (A) et claires (I) séparées par des stries Z (**figure9**). Les myofilaments

sont formés par deux types de protéines : des filaments épais d'actine et des filaments fins de myosine.



Actuellement, ce modèle très schématique est **modifié** en fonction des nouvelles découvertes, y compris la microdissection. La notion de fascicule prend alors une place importante. C'est un ensemble fonctionnel de sarcomères. Ces fascicules s'amarrent à un réseau aponévrotique d'une façon particulière : penniforme. Cette attache est assurée par des protéines de liaison comme la titine et la desmine. Il est crucial car pour de nombreuses blessures musculaires, ce ne sont pas les fibres qui se déchirent, mais ces protéines de liaison qui se déplacent.

Ces savoirs permettent de mieux comprendre la physiopathologie du muscle et donc l'ajustement de sa prise en charge.

La contraction musculaire consiste en la transformation d'un signal chimique en signal électrique puis mécanique. Deux parties sont à distinguer : la première se déroule dans le système nerveux central, la seconde dans le périphérique. Cela nécessite plusieurs étapes qui sont détaillées en ANNEXE 1. Ce compartimentage permet de décrire deux types de fatigue musculaire.

3.5.1 Classification des fibres musculaires :

Tableau 5 : Synthèse des différents types de fibres musculaires d'après Rieu (10)

Caractéristiques	FIBRES I Slow oxydative	FIBRES IIa Fast oxydative glycolitic	FIBRES IIb Fast glycolitic
Vitesse de contraction	Lente	Moyenne	Rapide
Force développée	+	++	+++
Fatigabilité	+	++	+++
Synthèse de l'ATP	Aérobie	Mixte	Anaérobie
Nombres de mitochondries	+++	++	+
Myoglobine	+++	++	+
Réserves en glycogènes	+++	++	+
Réserves en triglycérides	+++	++	+
Activité de la myosine ATPase	Lente	Rapide	Rapide
Type d'activité préférentielle	Posture, Endurance	Marche, Sprint	Mouvements puissants, intenses

Les plus de six cents muscles squelettiques ont des propriétés d'extensibilité, de contractilité, d'élasticité et de tonicité. Cependant ils remplissent des fonctions différentes. A cet effet, deux fibres sont décrites avec une troisième intermédiaire Ainsi, en fonction du muscle, la part des fibres varie. . En plus de cela, il y a la génétique spécifique à chaque individu, ce qui entraîne une différence de répartition entre les fibres pour un même muscle chez deux individus. et lentes sera différente. Pour autant ce schéma de base ne serait pas figé. Une des conséquences de l'activité physique serait la réorientation de certaines fibres. Ce mécanisme adaptatif reste faible et difficile en pratique, au moins pour le développement des fibres rapide

3.5.2 Les différents modes de contraction :

Plusieurs types de contractions sont possibles :

- Isométrique ou statique, il n'y a pas d'allongement musculaire le moment moteur est égal au moment résisté.
- Concentrique, le moment moteur est supérieur au moment résisté, il y a contraction musculaire avec raccourcissement.
- Excentrique, le moment moteur est inférieur au moment résisté, il y a contraction musculaire avec allongement du muscle.

Le travail excentrique **est** un travail où la charge est supérieure à 100 % de 1RM. Pour les charges inférieures à 100%, on parle de travail dynamique négatif (freinateur) ou bien de travail excentrique sous-maximal.

- La combinaison de la contraction précédente amène à définir un autre type de contraction appelé pliométrique. C'est l'enchaînement d'une contraction excentrique suivie d'une contraction concentrique. C'est ce mode de contraction que l'on retrouve dans la plupart des activités sportives (saut, réception, course). Enfin, le dernier type possible est une particularité du travail concentrique, c'est l'isocinétisme. Il s'agit au moyen d'un équipement spécial d'un travail musculaire dynamique concentrique effectué à vitesse constante où l'instrument adapte la résistance à la force développée.

Chapitre 4

METHODES ET ORGANISATIONS DE LA RECHERCHE

4.1 Moyens et Méthodes :

Cette présente recherche a pour objet de vérifier les hypothèses citées ci-dessus auprès d'une population des meilleurs footballeurs hommes, vu l'importance du sujet qui reste encore inexploité en Algérie et surtout dans le haut niveau, cette analyse a pour objet de réaliser non seulement dans le but d'apporter un aspect général sur les résultats moins bons de nos footballeurs et leurs qualités physiques et athlétique mais la résolution au thème en question.

4.2 Moyens humains :

Tableau N° 1 Caractéristiques des footballeurs répartis en deux groupes

N ° G	COMPITITION	GROUPE IEF (1= 10)	GROUPE NO IEF (1=10)	P
Age (ans)		17.8 =103 17.50 (17.00 =18.00)	17.8=0.9 18.00 (17.00 =18.00)	0.880
Taille (cm)		176=4 176 (174 -179)	178 = 7 179 (173 -182)	0.406
Poids (kg)		68= 3 69 (65-71)	69 =7 70 (68-71)	0.821
Posts occupies	« «	« «	« «	« «
Atta quant	PLAIN COMPITITION	1 (10)	3 (30)	0.278
Milieu terrain	PLAIN COMPITITION	6 (60)	3 (30)	0.194
Défenseure	PLAIN COMPITITION	2 (20)	3 (30)	0.612
GardIen de but	PLAIN COMPITITION	1 (10)	1 (10)	1.000

L'expérimentation pédagogique quant à elle concerne vingt (20) joueurs U 21 de la formation de (ASCO ORAN) participant au championnat Professionnel. Saison

Sportive 2016/2017, et répondant aux caractéristiques physiques qu'il faut.

4.2.1 Moyens matériels :

Pour le bain des bacs de 240L de 107cm de hauteur étaient remplis d'eau. Le refroidissement a été obtenu par l'ajout de glace pilée jusqu'à obtention de la Température souhaitée de (8° 12°)

Le contrôle de la température a été réalisé à l'aide d'un thermomètre instantané

Le contrôle du temps d'immersion et du temps hors immersion s'est effectué grâce au minuteur présent dans l'iPhone 5, permettant ainsi une sonnerie toute les minutes. Un cardio fréquence mètre mode multiple version 2010



- 4.3 Les Méthode de recherches :

4.3.1 Méthode de tests pédagogiques :

Dans le cadre de l'expérimentation pédagogique, 20 joueurs du club de (ASCO ORAN) ont subi deux tests pédagogiques ayant une relation avec l'état de la récupération physique des joueurs

Groupe Passif (PAS) : Les joueurs restaient assis, immobiles, pendant 14 minutes consécutives.

Groupe Immersion en Eau Froide (IEF) : Les joueurs étaient immergés dans l'eau (8° à 12°) pendant 14 minutes consécutives.

Le protocole consistait à tester 15 minutes avant le début de l'entraînement, pour chaque joueur - Capacité de répéter des sprints : $6 \times 20\text{m}$ avec un départ toutes les 30s. Ensuite, les tests de performances physique ont été répétés immédiatement, 24h et 48h après les entraînements. Les niveaux de douleurs musculaires et le niveau de fatigue perçue ont été évalués immédiatement, 1h, 24h et 48h après le match. La récupération après le match avait lieu juste après les tests de performance physique, les niveaux de douleurs musculaires et le niveau de fatigue perçue grâce à des échelles visuelles de type Echelle de Borg et les performances physiques. La dernière étape Faire des tests de récupération sur les deux groupes teste Ruffier-Dickson de La fréquence cardiaque.

Nous avons opté pour la méthode dite méthode des tests pédagogique qui est peut-être la seule susceptible de comparer, d'objectiver l'effet de l'immersion en eau froide sur la récupération physique et la performance

-4.3.3 Analyses statistiques

Pour l'exploitation des données le tableur Excel® a été utilisé et Sigma Plot® 11.0 est logicielle Perl à spss. Les résultats ont été exprimés sous la forme de moyennes et d'écart type.

Pour la comparaison des moyennes des tests paramétriques ont été utilisés lorsque la distribution des variables suivait une loi normale (test t de Student) Le seuil de significativité retenu est $p < 0.05$

. 4.3.4 Protocol :

Pour le bain des bacs de 240L de 107cm de hauteur étaient remplis d'eau. Le refroidissement a été obtenu par l'ajout de glace pilée jusqu'à obtention de la Température souhaitée de (8° 12°)

L'immersion dans l'eau froide consiste à immerger une partie ou la totalité du corps d'un athlète dans un bain d'eau froide ($8-12^{\circ}\text{C}$) pendant au moins 14 minutes, (12 mm14 minutes) étant recommandées. Quant à l'hydrothérapie contrastée, Plusieurs études ont

montré que ces techniques pouvaient aider à réduire les diminutions de force et de puissance observées après des séances d'entraînement intense, à soulager des courbatures et à réduire la fatigue. De plus, la technique de l'immersion en eau froide permettrait de réduire les œdèmes et les dommages causés aux muscles.

- Groupe Passif (PAS) : Les joueurs restaient assis, immobiles, pendant 14 minutes consécutives.

- Groupe Immersion en Eau Froide (IEF) : Les joueurs étaient immergés dans l'eau (8° à 12°) pendant 14 minutes

Consécutives.

4.4 Déroulement de l'étude :

Les sujets sélectionnés ont été répartis en 2 groupes.

- Le groupe B témoin, ne réalisant pas le protocole.
- Le groupe A, d'expérimentation en eau froide à la fin de la séance d'entraînement.

L'étude s'est déroulée pendant Cinq semaines entre le mois mars et le mois d'avril 2017. En premier tous les sujets (footballeurs) passent le test de récupération, et de la performance.

Refaire les tests de récupération et de performance

Ensuite, les tests de performances physique ont été répétés immédiatement, 24h et 48h après les entraînements. Les niveaux de douleurs musculaires et le niveau de fatigue perçue ont été évalués immédiatement, 1h, 24h et 48h après l'entraînement. La récupération après le match avait lieu juste après les tests de performance physique, les niveaux de douleurs musculaires et le niveau de fatigue perçue grâce à des échelles visuelles de type Echelle de Borg et les performances physiques.

Faire des tests de récupération sur un échantillon, teste Ruffier-Dickson de La fréquence cardiaque et la température corporelle.



Image 2 : Immersion en bain froid (étude 01)

4.5 Organisation de la recherche :

Les variables de la recherche

- a- **Variable indépendante** : la variable indépendante dans cette recherche est la Récupération.
- b- **Variable dépendante** : les variables dépendantes sont les performances sportives
- c- (**FCR, indice ruffier dikson**) les paramètres morphologiques (IMC) et les indices de nages (vitesse course et la performance).

4.6 Maitrise des variables :

Dans la perspective de réaliser une recherche scientifique, le chercheur doit impérativement, identifier les différentes variantes.

- a- **Variable indépendante** : c'est le programme appliqué d'entraînement et la répartition des deux régimes de contraction.
- b- **Variable dépendante** : c'est les paramètres morfo-physiologiques et les performances sportives.
- c- **Variable parasites** : c'est les négligences de quelques paramètres de

l'expérimentation :

- L'application du même programme d'entraînement dans l'eau.
- Les horaires des tests et les mêmes conditions.
- L'absence est un des variables parasites fondamentales

4.7 Test d'homogénéité (test student) :

Appliquer le test student comme test d'homogénéité pour voir dès le début de l'expérimentation, qu'il n'y a pas de différences significatives entre les variables de l'échantillon, afin de pouvoir réaliser cette étude en toute crédibilité.

Il consiste à utiliser deux fois le même protocole de mesure sur les mêmes sujets, afin d'estimer sa fidélité. Les écarts observés entre les deux prises donnent la variabilité de la mesure. Si on obtient le même résultat, cette mesure est dite fidèle ou peu variable.



Figure n°06 Cardio fréquence mètre

Test de Ruffier Dickson :

Le test dit de Ruffier-Dickson se déroule en 3 étapes :

- Après être resté allongé environ 5 minutes au calme : prendre son pouls (P1)
- Réaliser 30 flexions complètes sur les jambes, bras tendus et pieds bien à plat sur le sol, en 45 secondes. Prendre son pouls juste après (P2)
- Se rallonger et reprendre son pouls 1 minute après la fin de l'exercice (P3)

$$\text{Indice Ruffier} = (P1 + P2 + P3) - 200 / 10$$

Indice de Ruffier :

Indice < 0 = très bonne adaptation à l'effort
0 < indice < 5 = bonne adaptation à l'effort

5 < Indice < 10 = adaptation à l'effort moyenne

10 < indice < 15 = adaptation à l'effort insuffisante

15 < indice = mauvaise adaptation à l'effort – bilan complémentaire nécessaire

Autres indices :

P2 ne doit pas dépasser $P1 + 1/2 P1$ pour un sujet entraîné (adaptation à l'effort) ;

P3 ne doit pas dépasser $P1 + 10$ (récupération)



Figure n°08 Les différentes phases du déroulement de l'étude

Chapitre 5

**PRESENTATION
ET DISCUSSION
DES RESULTATS**

5.1 PRESENTATION ET DISCUSSION DES RESULTATS :

5.2 Résultats :

Notre recherche nous impose un dispositif important à la porter du chercheur durant toute la période de la recherche, utiliser la méthode statistique pour les Vingt footballeurs ont été inclus : 10 dans le groupe IEF et 10 dans le groupe témoin (non-IEF). Le tableau 1 expose les données anthropométriques et les postes occupés par les footballeurs. Les deux groupes ont été classés en fonction de leur âge, de leur taille et de leur poids. Le profil des postes occupés par les footballeurs a été similaire entre les 2 groupes.

N ° G	COMPITITION	GROUPE IEF (1= 10)	GROUPE NO I EF (1=10)	P
Age (ans)		17.8 =103 17.50 (17.00 =18.00)	17.8=0.9 18.00 (17.00 =18.00)	0.880
Taille (cm)		176=4 176 (174 -179)	178 = 7 179 (173 -182)	0.406
Poids (kg)		68= 3 69 (65-71)	69 =7 70 (68-71)	0.821
Posts occupies	« «	« «	« «	« «
Atta quant	PLAIN COMPITITION	1 (10)	3 (30)	0.278
Milieu terrain	PLAIN COMPITITION	6 (60)	3 (30)	0.194
Défenseur	PLAIN COMPETION	2 (20)	3 (30)	0.612
Gardien de but	PLAIN COMPETITION	1 (10)	1 (10)	1.000

Tableau N° 1 Caractéristiques des footballeurs répartis en deux groupes

5.3 Présentation du test d'homogénéité et de la fiabilité :

	TAILL E G A	TAILL E G B	POIDS A	POIDS B
Moyenne	170,70	168,75	60,67	68,75
Variance	81,34	84,50	84,34	84,50
Observations	10,00	8,00	10,00	8,00
Variance pondérée	82,73		84,41	
Différence hypothétique des Moyennes	-		-	
Degré de liberté	16,00		16,00	
Statistique t	0,45		24,80	
P(T<=t) unilatéral	0,33		0,00	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,75		1,75	
P(T<=t) bilatéral	0,66		0,00	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,12		2,12	

Tableau N°3 : Récapitulatif de l'homogénéité des groupes en taille et en poids

5.4 Interprétation :

On remarque que le T tabulé est nettement supérieur à la valeur du T calculé alors une insignifiante différence entre les deux groupes A et B (voir tableau n°03).

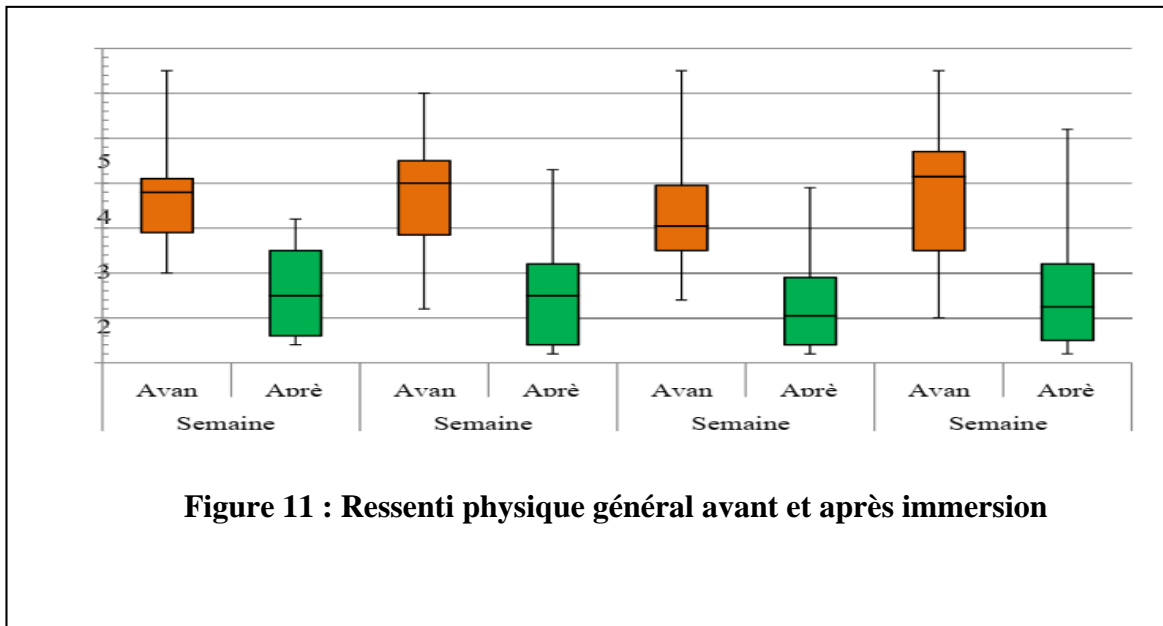
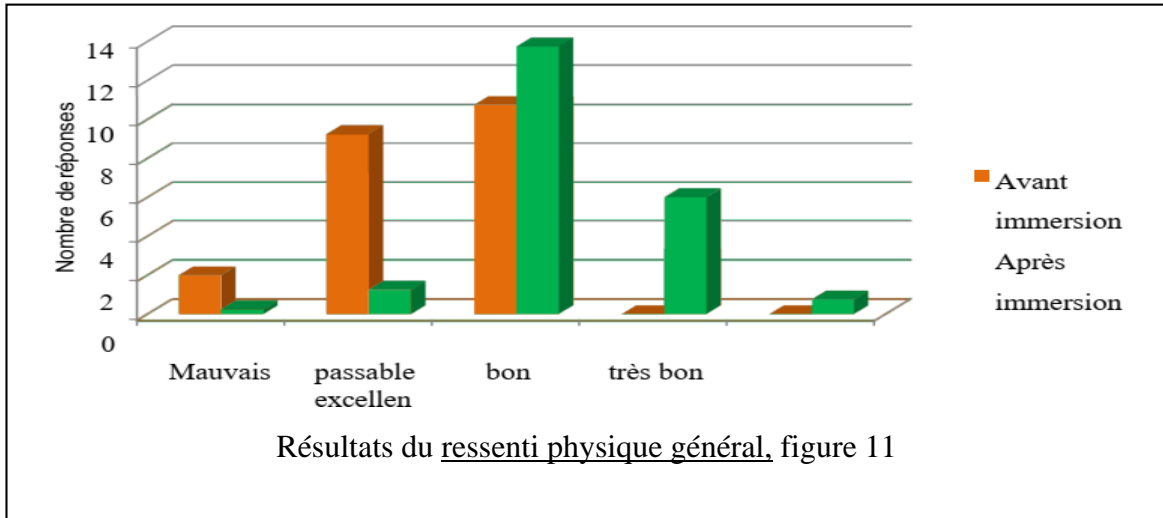
	<i>TEST FCR</i>	<i>RETES T FCR</i>	TEST INDICERUFFI ER	RETEST 2 INDICERUFFIE R	<i>TES T IMC</i>	<i>RETES T IMC</i>
Moyenne	64,75	65,00	12,36	12,35	20,44	20,44
Variance	170,50	162,57	14,38	14,51	3,10	3,11
Observations	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Coefficient de corrélation de Pearson	1,00		1,00		1,00	
Différence hypothétique des moyennes	-		-		-	
Degré de liberté	7,00		7,00		7,00	
Statistique t	-1,00		1,00		1,00	
P(T<=t) unilatéral	0,18		0,18		0,18	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,89		1,89		1,89	
P(T<=t) Bilatéral	0,35		0,35		0,35	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,36		2,36		2,36	

Tableau N°4 : Récapitulatif de la fiabilité des tests

5.5 Interprétation

Nous remarquons dans le tableau n°04 que les résultats statistiques favorisent une prédiction que les outils de l'expérimentation sont fiables et crédible pour ce genre de tests.

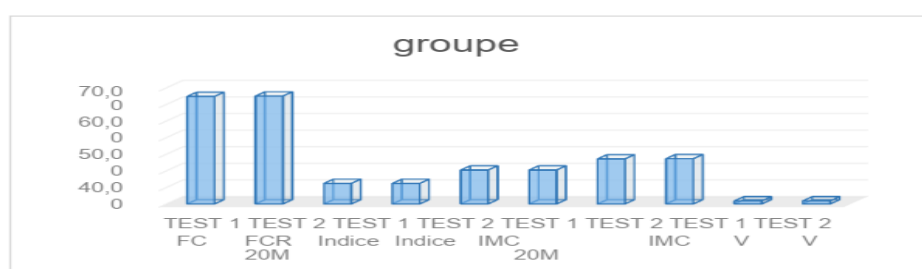
5.6 Résultats du groupe IEF: avant vs après immersion :



5.6 Etude statistique des paramètres étudiés :

Tableau N°5 : Récapitulatif du premier et du deuxième test chez le groupe A IEF

	<i>TES T 1 FCR</i>	<i>TES T 2 FCR</i>	<i>TES T 1 Indic e R D</i>	<i>TES T 2 Indic e R D</i>	<i>TE S T 1 IMC</i>	<i>TE S T 2 IMC</i>	<i>TE S T 1 50M</i>	<i>TE S T 2 50M</i>	<i>TES T 1 V</i>	<i>TES T 2 V</i>
Moyenne	64,75	65,00	12,36	12,35	20,44	20,44	27,13	27,25	1,84	1,84
Variance	170,50	162,57	14,38	14,51	3,10	3,11	2,98	3,64	0,02	0,02
Observations	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Coefficient de corrélation de Pearson	1,00		1,00		1,00		0,99		1,00	
Différence hypothétique des moyennes	-		-		-		-		-	
Degré de liberté	7,00		7,00		7,00		7,00		7,00	
Statistique t	-1,00		1,00		1,00		-1,00		1,00	
P(T<=t) unilatéral	0,18		0,18		0,18		0,18		0,18	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,89		1,89		1,89		1,89		1,89	
P(T<=t) bilatéral	0,35		0,35		0,35		0,35		0,35	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,36		2,36		2,36		2,36		2,36	



Histogramme représentant premier et le deuxième test chez le groupe A

5.3.1 Interprétation

Avec un degré de liberté de 07, et un T tabulé de 2,36 et un T calculé pour toutes les variables étudiées, notre résultat se confirme par l'absence de différence entre les tests dans le groupe A (voir tableau n°05 ET figure n°08).

Tableau N°6 : Récapitulatif du premier et du deuxième test chez le groupe B

	TES T 1 FCR	TES T 2 FCR	TEST 1 IndiceR D	TEST 2 IndiceR D	TES T 1 IMC	TES T 2 IMC	TES T 1 50M	TES T 2 50M	TES T 1 V	TEST 2 V
Moyenne	62,50	62,38	10,49	10,48	19,9 7	19,9 7	28,3 8	28,2 5	1,77	1,77
Variance	245,7 1	249,1 3	11,03	11,11	2,10	2,11	6,55	6,79	0,03	0,03
Observations	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Coefficient de corrélacion de Pearson	1,00		1,00		1,00		0,99		1,00	
Différence hypothétique des moyennes	-		-		-		-		-	
Degré de liberté	7,00		7,00		7,00		7,00		7,00	
Statistique t	1,00		1,00		1,00		1,00		1,00	
P(T<=t) unilatéral	0,18		0,18		0,18		0,18		0,18	
Valeur critique de t (unilatéral)	1,89		1,89		1,89		1,89		1,89	
P(T<=t) Bilatéral	0,35		0,35		0,35		0,35		0,35	
Valeur critique de t (bilatéral)	2,36		2,36		2,36		2,36		2,36	

Une absence de différence significative entre les tests dans le groupe B se

confirme par la supériorité du T tabulé (voir tableau n°06).

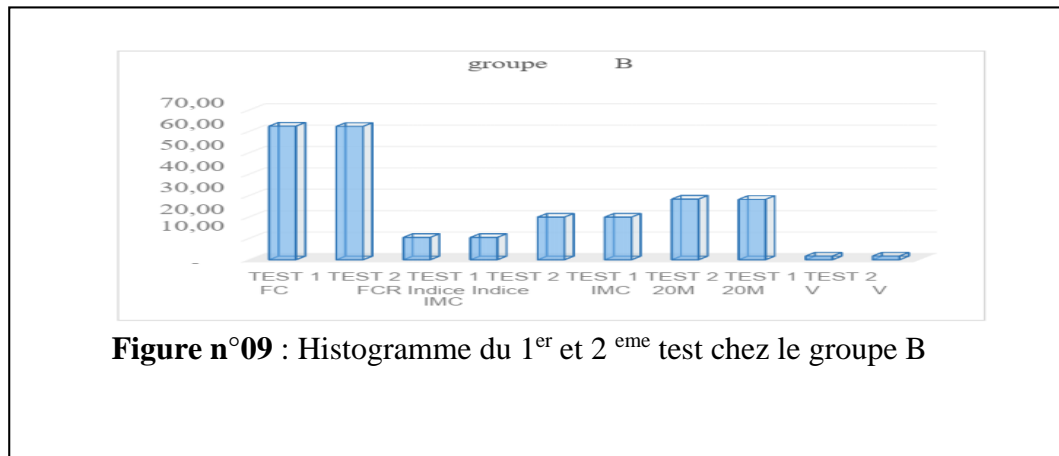


Figure n°09 : Histogramme du 1^{er} et 2^{eme} test chez le groupe B

Avec un degré de liberté de 07, et un T tabulé de 2,36 et un T calculé pour toutes les variables étudiées, notre résultat se confirme par l'absence de différence entre les tests dans le groupe B (voir tableau n°06 ET figure n°09).

5.3.2 Discussion des résultats :

- 1/Réduire la fréquence cardiaque et la température interne pendant l'exercice et la récupération.
- 2/Diminue la température et la humidité.
- 3/Encouragez-vous à mieux comprendre ce qui se passe.
- 4/Améliore la façon dont on se sent bien.

Discussion :

Le refroidissant dans un endroit humide réduit la fréquence cardiaque et la température interne pendant l'exercice physique et la récupération. Ce refroidissement permet de diminuer la température, l'effort et l'humidité. Cela peut améliorer la sensation de bien-être. Cet effet positif des immersions en eau froide est confirmé par plusieurs études récentes. Cette stratégie de refroidissement améliore les conditions de travail en réduisant le stress physiologique et en améliorant le confort thermique.

Nous avons comparé les performances et la fréquence cardiaque de deux groupes de footballeurs qui ont travaillé dans le football. En comparant à la période 1 et celle de la période 1.

La période 2 a diminué de 0,05 à 0,04 dans le groupe IEF et a augmenté de 0,03 à 0,04 dans

le groupe non-IEF. Comparativement aux FC mesurées avant et à la fin de la course de la « période1 »

Le groupe IEF a augmenté de la période 2 pour le moment. Dans les autres études ayant des objectifs similaires, d'autres tests ont été réalisés : corps jusqu'au cou en position debout jusqu'à la crête iliaque en position assise cette différence Pourrait modifier les adaptations physiologiques dans les procédures d'IEF (Far (linaarsson, 2011)) qui ont notamment observé des variations très importantes de la FC en modulant les profondeurs d'IEF à température d'eau constante) Ces spécificités pourraient expliquer pour une part les différents résultats observés dans les études s'intéressants aux effets de l'IEF, l'immersion en eau froide diminue moins la concentration en lactate En opposition établit que l'immersion en eau froide n'influence pas déchet métabolique de la réaction musculaire que la récupération active et passive. Mais l'immersion en eau froide permet de mieux se sentir cardiaque avant ou pendant l'effort, sans affecter la fréquence cardiaque. Elle permet de diminuer la température signe de diminuer l'inflammation post-effort.

Cette étude montre que la méthode de récupération par immersion en eau froide (IEF) est la plus efficace des méthodes testées pour récupérer ses performances physiques. Elle réduit la fatigue perçue, mais elle est efficace. Les méthodes IEF ont permis de mieux récupérer. L'impact le plus important des méthodes IEF sur les performances physiques était l'amélioration du déclin de performance lors de sprints répétés. La méthode IEF a aussi permis de récupérer 24 heures après l'effort.

Les effets physiologiques de l'immersion en eau froide et de la relaxation peuvent expliquer comment l'immersion en eau froide et l'hydrothérapie contrastée est efficace. La pression augmente la douleur et la perte de force après un exercice intense. Cette immersion peut aussi inciter une sensation de relaxation qui pourrait expliquer la diminution de la perception de fatigue et de douleurs musculaires. Les sportifs ont été immergés en eau froide pendant 12 minutes sans interruption. La pression hydrostatique continue serait peut-être plus efficace. La méthode IEF explique les meilleurs résultats avec la température de l'eau. Le froid peut aider à réduire les problèmes de santé, à réduire les œdèmes, à perméabiliser la vitesse vasculaire, à diminuer le métabolisme musculaire et à mieux se sentir en colère. C'est

ce qui favorise le retour à la forme.

L'Immersion en Eau Froide permet de récupérer les sports après un entraînement de Football. La récupération est cruciale pour la performance athlétique. La fatigue et la fatigue peuvent aider les athlètes à se sentir mieux sur le terrain. Dans des sports fréquentés, ces méthodes sont très intéressantes. Le protocole est facile à suivre et peu contraignant pour les sportifs, peu importe si l'équipement nécessaire est plus cher ou moins coûteux.

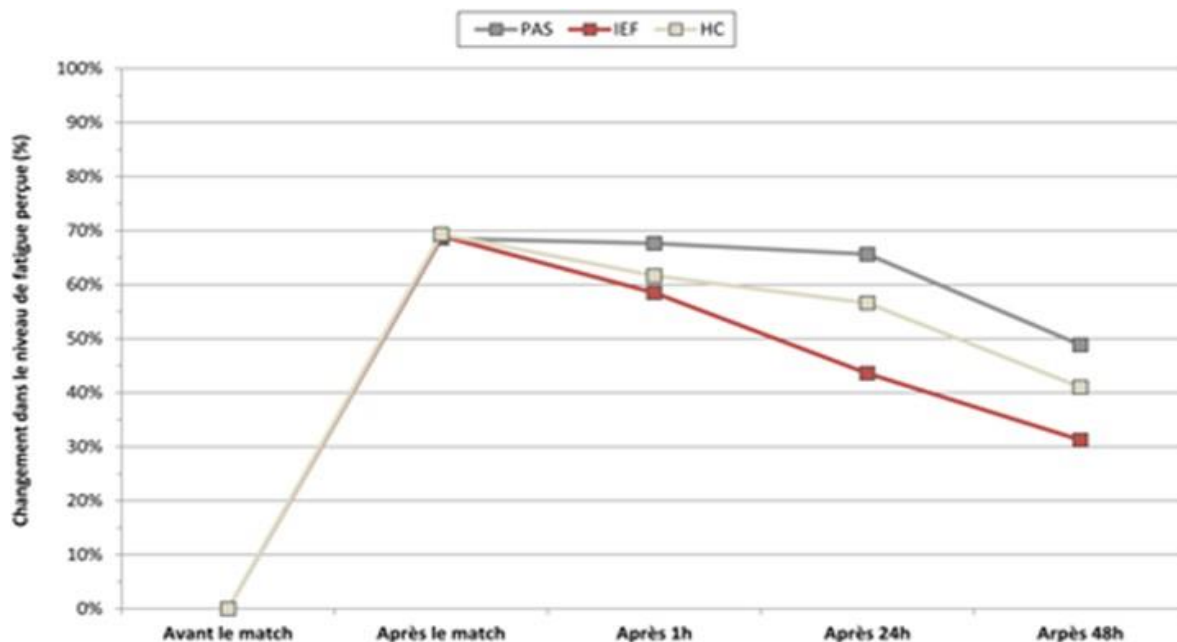


Figure 6 : La Fatigue Physique

Conclusion :

Le sportif qui a de la capacité à récupérer est important pour se déplacer. Pour augmenter les charges d'entraînement sans diminuer les capacités physiques Les intervenants sportifs mettent en œuvre des techniques de récupération avec plus ou moins de succès, de preuves et de connaissances. Pour améliorer la performance future, nous devons immerger le corps entier en eau froide. Il semble que la combinaison de facteurs physiologiques et psychologiques combine la performance future. Cela montre que les sportifs doivent être attentifs à leur propre sentiment de récupération en plus des effets physiologiques de l'immersion en eau froide. Le sportif qui se sent engagé dans un processus de récupération peut aussi influencer sa capacité à récupérer. Il faut donc approfondir les recherches sur deux techniques réputées dans le monde du sport de haut niveau. Le problème de ce travail de fin d'étude était de déterminer quelles techniques utiliser.

L'immersion en eau froide et la récupération passive sont les plus efficaces pour les sportifs de haut niveau. Les deux techniques ont des effets bons sur la réponse à la réaction inflammatoire. Les résultats montrent que les actions pour prévenir les lésions musculaires ont un effet positif, même si il n'y a pas beaucoup de livres sur le sujet. Il est important que des études supplémentaires soient effectuées pour comprendre comment la IEF affecte la performance. De plus, de nouvelles recherches montrent que l'immersion en eau froide est une pratique utile et accessible pour les gens.

L'immersion en bain froid est utile pour améliorer la récupération dans le sport. Mais

il faut encore obtenir des preuves de succès pour que les professionnels puissent suivre un protocole précis d'immersion. montre que la recherche de consensus est toujours en cours, examine de la littérature sans faire de conclusions. C'est important de continuer à travailler sur ce domaine.

Ce travail a pour but d'étudier comment la récupération en immersion en eau froide affecte les performances. Les résultats sont prudents car ils ne sont pas confirmés scientifiquement.

Le foot Ball de haut niveau est un sport de contact où les joueurs enchaînent des efforts intermittents. Cela peut causer des problèmes de santé et de fatigue, ce qui rend les performances plus difficiles et fatiguées. Les techniques actuelles de récupération préfèrent utiliser une méthode appelée cryothérapie. Les études disent que l'utilisation de cette méthode est utile pour réduire les sensations musculaires du joueur et faire des performances.

Ce travail ne représente qu'une pré-étude en se limitant à l'évaluation du ressenti musculaire. Il se pense que combiner les choses de la vie et des sentiments peut aider à améliorer la performance future. Cela suppose l'importance de la perception individuelle dans la récupération. Le sportif impliqué dans une récupération peut influencer sa capacité à récupérer en dehors des effets physiologiques de l'immersion en eau froide. Il faut donc évaluer les paramètres objectifs et quantifiables pour avoir des résultats pertinents.

La récupération doit être considérée globalement et multifactorielle. Le sport doit comprendre comment il affecte les maladies et les cellules. Selon le type d'effort effectué, on peut proposer les meilleurs.

Pour une meilleure efficacité. Mieux est de récupérer juste le PhD , pas seulement le PhD

En général, on utilise la même méthode pour récupérer les patients qui ont des problèmes de santé. Dans le monde du sport, certaines pratiques et croyances l'emportent sur les données scientifiques, tout protagoniste doit s'assurer que son action est réellement bénéfique, et surtout réalisée dans le respect de l'intégrité physique du sportif. Ce principe est applicable à toute activité de soin quotidienne. Il est important de se demander ce qui a causé la situation, qui est-il, quels sont les buts et comment le prendre en charge ? Il ne s'agit pas d'appliquer des recettes, mais de poser les bonnes questions pour s'adapter.

Dans le sport, les recherches actuelles se concentrent sur l'utilisation de la cryothérapie. Des études supplémentaires devraient ouvrir des perspectives d'application dans le domaine sportif et dans toute la population.

6.1 EFFETS GENERAUX DU FROID :

Des études ont étudié les effets physiologiques et systémiques du froid dans des conditions ambiantes en contact avec le corps humain en entier.

Parfois, elles utilisent des protocoles différents pour le refroidissement cutané. Il peut s'agir de chambres froides à 4°C et d'eau froides entre 2 et 4.

Il y a encore peu de publications sur la méthode de CCE à 24°C.

6.2.2 impacte cardio-vasculaire :

6.2.3 impacte cardiaque :

Les effets d'une exposition aiguë au froid sur la fonction cardiaque ont été étudiés (28) Il a étudié un groupe de huit volontaires en contact avec un air de 15°C. Les résultats obtenus ont montré une augmentation significative du volume d'éjection systolique, mais aucune comparaison n'a été établie quant aux modifications de la fréquence cardiaque à plus ou moins long terme et aucune hypothèse physiologique n'a été proposée.

Le Blanc (17) a publié une étude plus complète et rigoureuse la même année pour obtenir des résultats significatifs en faveur d'une augmentation de la fréquence cardiaque lors d'une exposition au froid.

Mais cette fois-ci, il offre des voies nouvelles. Cette fréquence accrue est liée à une excitation du système nerveux sympathique par le froid. En comparant les réactions d'hommes blancs occidentaux avec celles d'un groupe d'esquimaux, il va plus loin dans ces recherches. Le groupe occidental a une fréquence cardiaque significativement plus élevée que celle des esquimaux. Il est alors l'un des premiers à proposer l'hypothèse d'une capacité d'adaptation au froid en cas d'exposition prolongée et quotidienne.

Il n'explique pas avec certitude le mécanisme physiologique d'adaptation mais suggère que des expositions répétées au froid provoquent la désensibilisation du système nerveux sympathique à ce stimulus et que le système nerveux parasympathique serait en même temps plus sensible au message transmis par les récepteurs thermiques périphériques.

Ces résultats sont d'ailleurs confirmés par les mesures qu'il réalise sur la pression Artérielle systolique que nous préciserons par la suite.

La réalisation une étude à la fin des années 90 qui complétera les travaux déjà réalisés dans les années 70. Les premiers travaux ont en effet démontré une augmentation de la fréquence cardiaque lors d'une exposition aiguë au froid mais ne discutent pas de son évolution temporelle, et surtout l'effort.

En repos, après un coup de froid, le rythme cardiaque retrouve rapidement la normale. Dans l'étude Marsh 13 athlètes nationaux ont subi des essais à 2 jours d'intervalle sur un effort de 10 minutes sur cycle à 60% de leur VO₂ max. Le premier test mesurait leur rythme cardiaque sous conditions normales, le deuxième test mesurait leur rythme cardiaque pendant l'effort mais après avoir été immergés pendant 30 minutes dans une eau à 12°C. Les résultats obtenus ont montré que la fréquence cardiaque des patients refroidis est certes plus élevée au début de l'exercice par rapport au test contrôle mais que dès la 2 minute du test ils avaient une fréquence cardiaque à l'effort inférieure à celle du premier test et que cette différence devient significative à la 5 minute jusqu'à la fin du test. Les résultats sont les suivants :

Pendant la phase de récupération, leur rythme cardiaque était inférieur à celui du premier test.

Les travaux d'Olschewski ou de Bergh ne donnaient pas d'explication physiologique à ce phénomène alors que ceux de Marsh et de Sleivert ont donné une explication physiologique à ce phénomène dans la phase post-refroidissement.

La vasoconstriction périphérique provoquée par le refroidissement par immersion est responsable d'une redistribution centrale, et donc cardiaque, du débit sanguin. L'éjection systolique est donc accrue (comme l'avait déjà supposé Atterhog en 1975) Le débit sanguin musculaire est alors plus élevé, l'apport en O₂ à leur niveau est amélioré et l'élimination des résidus (ex : lactate) facilitée. En raison de la meilleure délivrance en oxygène, le rythme cardiaque ne nécessite pas une fréquence aussi élevée qu'en condition standard lors de l'effort. Cette explication est d'ailleurs approfondie un peu plus loin par Marsh qui avertit que cet effet est directement lié à la température de la peau dans le

temps.

a retenu cette explication en 2004 dans sa publication. Elle ne complète que les résultats de Marsh par une étude utilisant cette fois la cryothérapie corps entier comme vecteur frigorigène. Dans cette étude, le test d'effort est plus long (26 minutes contre 10 pour Marsh), avec des fréquences de pédalages rapides et lentes pour mesurer la fréquence cardiaque dans des conditions d'effort différentes. Ces résultats sont significatifs car la fréquence cardiaque des patients refroidis est nettement inférieure à celle des patients témoins à l'effort et au repos (5 minutes assis à 24°C)

Il s'agit d'une des études qui ont permis de parler de choc thermique plutôt que de refroidissement cutané en ce qui concerne les effets de la CCE. Il semble que l'exposition à un froid sévère ait des conséquences cardio-vasculaires plus importantes et plus durables qu'un refroidissement cutané progressif.

En conclusion, il est à mon sens licite de retenir que les phénomènes vasomoteurs liés Aux différences de rythme cardiaque établies dans les études citées ont été causées par le refroidissement cutané assurant une redistribution vasculaire centrale. Cependant aucune étude ne montre que ces effets sont durables et permettent de réduire le rythme cardiaque de sportifs lors de préparation à la performance.

Par ailleurs ces phénomènes sont liés à l'abaissement de la température cutanée qui, comme il est bien connu, se réchauffe à l'exercice. Il est possible que le principe du choc thermique entraîne une diminution de la fréquence cardiaque prolongée par des séances répétées de CCE. Il est également possible de valider l'effet lors de l'exposition au froid, le système nerveux

Sympathique entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque.

Il paraît donc prudent de voir, pour l'instant, dans la CCE un moyen efficace en ce qui concerne la récupération musculaire grâce à cette redistribution vasculaire. De plus, la température cutanée après une séance de CCE est encore inférieure de 30 minutes au moins (8) et les phénomènes psychiques se poursuivent au moins deux heures après.

6.2.4 Effet vasculaire :

Cette partie reprend les études précédemment citées dans la partie « effet cardiaque » puisque tous les auteurs qui se sont intéressés aux modifications du rythme cardiaque ont également mesuré la pression artérielle lors de leurs travaux.

Il a donc été démontré que la pression artérielle systolique augmente considérablement lors de l'exposition au froid et que les personnes adaptées au froid, c'est-à-dire exposées depuis plusieurs mois et quotidiennement au froid, ont une pression artérielle systolique significativement moindre.

L'hypertension artérielle a d'ailleurs été définie comme contre-indication à la CCE par les études antérieures.

6.2.5 impact sur l'exercice :

Comment l'exercice musculaire affecte les muscles :

La difficulté dans l'analyse de la littérature concernant les avantages apportés par le logiciel.

La performance musculaire est le nombre de protocoles d'étude, les conditions de refroidissement (eau, air, durée, température du réfrigérant, période réchauffement ou non, etc...) et les conditions de l'exercice musculaire (sec, humide, chaud, tempéré)

On peut cependant dégager deux principaux types d'étude. Premièrement les études évaluant la performance musculaire pour des exercices « maximaux et brefs », que nous appellerons efforts maximaux et deuxièmement les études évaluant la performance musculaire pour des exercices « prolongés et non maximaux », que nous appellerons efforts sous maximaux.

6.2.6 Efforts maximaux :

Les études ont été faites sur ce type d'exercice. Certains auteurs ne voient pas l'intérêt de faire un effort intense et maximal après une période de refroidissement cutané.

En 1979, la jambe sur ergocycle diminue beaucoup en raison de la nage en eau froide à 13°C. Le test a été fait à une température ambiante de 20 C.

En 1997 et 2000, Oksa a montré que la qualité de l'aide est excellente.

Lorsqu'on se refroidit, on commence à exercer.

Une étude a montré qu'un effort intense de courte durée peut augmenter à la suite d'un refroidissement de la peau. Marsh (19) a remarqué que les cyclistes de niveau international ont augmenté de 3,3% après immersion dans une eau à 14°C, comme les patients deux jours avant sans méthode de refroidissement. Ces résultats sont critiques car 70 secondes d'exercice intense étaient précédées d'un échauffement de 10 minutes à 60% de leur VO₂ max. Même si le refroidissement cutané rend les efforts intenses plus forts, cela affecte la façon dont nous avons fait l'étude et les résultats.

Les publications allemandes, dont je n'ai reçu que les résumés en anglais, semblent prouver les mêmes résultats que Marsh. Frick, 33, a montré une amélioration de ses performances de sprint dans une publication publiée en 1999. C'est la seule étude sur l'exercice musculaire maximal et la CCE. Certains paramètres surprennent, comme le sprint de 5, 10 et 15 mètres. Il est très fort, mais il n'est pas très objectif.

L'un des plus récents ; a examiné les conséquences du port d'une veste refroidie sur la glace entre deux sprints de cycle. Les joueurs de hockey font des efforts intenses et courts pendant une heure. Il n'y a eu aucune différence entre les performances effectuées et cela à six reprises.

Tous les sportifs qui ont appris ont l'impression de faire un exercice après le froid plus facilement et moins de problèmes.

En résumé, les recherches qui étudient comment la peau se refroidit et que les muscles ne répondent pas à ce qu'on pense. Il semble logique de préconiser un bain dans l'eau glacée à un sprinter avant sa course.

La faille méthodologique pourrait être le temps de réchauffement accordé au sportif avant l'exercice maximal. Si la méthodologie prévoyait un retour à la température cutanée avant l'effort maximal, les résultats seraient plus favorables au refroidissement cutané.

La recherche sur ce paramètre lié à la CCE est intéressante. Le choc thermique pourrait avoir d'autres effets sur la force musculaire que les techniques impliquant un froid moins intense.

Les publications sont plus nombreuses à ce sujet.

En 1988, Olschewski analyse les capacités d'endurance après un refroidissement général par un air à 0°C, pour une température centrale à 36,9 au début de l'exercice. Les patients qui sont en colère ont un temps d'effort de 80%, ce qui est plus long que les patients qui ne sont pas en colère. Ils ont une durée d'effort supérieure à celle des patients témoins (non refroidis) C'est bien ça. Pour une $p < 0,05$, c'est statistiquement significatif. Cette étude n'examine pas comment la peau est tempérée avant l'exercice. La température était de 18°C chez nous.

En 1997, Booth a étudié comment parcourir deux groupes en 30 minutes sur cycle pour une résistance équivalente. Un des deux groupes a été immergé dans une eau à 23°C, ce qui a amélioré leur température cutanée à 33,8°C et la température centrale à 36.7 au début de l'exercice. Les patients refroidis ont enregistré une distance supérieure de 304 mètres, soit une augmentation de 4% par rapport aux non refroidis. Cette réponse était significative pour $p < 0,05$. La température était de 31°C à 60% d'humidité à l'extérieur.

le refroidissement de la peau par immersion dans une eau à 23°C permet d'augmenter la distance parcourue de 900 m. La température de la peau était de 32,5°C et celle de l'air ambiant était de 31,4°C, avec 60% d'humidité.

Les conditions d'effort sont différentes des travaux mentionnés ci-dessus. L'évaporation se fait vite dans des conditions plus sèches. Il y a moins de chaleur dans le corps que dans les conditions chaudes, ce qui rend la chaleur plus agréable. La différence méthodologique est liée à l'interprétation des résultats, pas à leur objectivité, car il s'agit de comparer trois groupes dans les mêmes conditions.

En 2001, Cotter (39) a étudié les différences de puissance chez 9 sportifs en fonction de leur état de refroidissement cutané, à 65% de leur VO₂ maximal. La puissance augmente (p)

Les sportifs qui sont en train de se déplacer ont moins d'énergie que les gens qui sont en

train de se déplacer. La veste est froide et l'air à 0°C pour une température centrale de 36,8°C. La température extérieure est de 30 à 35°C et l'humidité est de 65 %

Le refroidissement cutané améliore les performances musculaires. D'autres choses peuvent affecter les résultats. Il faut tenir compte de la température extérieure et de l'humidité. Il semble que le refroidissement de la peau avant un effort d'endurance dans des conditions chaudes et sèches peut être un avantage important.

Ces efforts sont durs, surtout pour les personnes qui ont une VO₂ de plus de 65%, mais il n'y a pas d'études suggérant des efforts de plus d'une heure. Il serait intéressant de vérifier si les gains obtenus sur des efforts d'une demi-heure peuvent se prolonger dans le temps sur des efforts plus longs.

L'explication physiologique de ces performances est basée sur les travaux de Booth (35) et Kay (38) qui supposent que les capacités de stockage de chaleur sont plus élevées chez les patients refroidis avant exercice et donc que l'épuisement à l'effort est décalé par rapport aux patients non refroidis. C'est

Le calcul de cette « capacité de stockage de chaleur » n'est pas précisé dans cette littérature.

2.6.7 Effet sur les lactates :

Dans le cadre d'un effort musculaire, des études ont évalué le taux de lactate après exposition au froid.

Booth (35) a comparé le taux de lactate dans les deux groupes étudiés à la fin de l'exercice musculaire et a constaté que ce taux était plus élevé chez les patients ayant subi un refroidissement cutané avant l'effort.

Inversement, Joch (4) enregistre des niveaux de lactates nettement plus bas chez des patients préalablement refroidis après un effort de 26 minutes sur cycle, à 65% VO₂ max, à 20°C. Ils sont importants jusqu'à la 16ième minutes.

Mais Lee (37) montre en 1995 que ces niveaux de lactates ne diffèrent pas significativement entre le groupe refroidi et le groupe non refroidi. Les mesures de cette étude ont été effectuées après un effort de 80% VO₂ max, jusqu'à épuisement, dans des conditions ambiantes à 24°C et avec 55% d'humidité.

Marsh (19) ne trouve pas non plus de différence significative entre les sportifs refroidis et non refroidis en ce qui concerne le taux de lactate après un effort intense de 70 secondes sur cycle.

Ces quelques exemples témoignent volontiers d'un manque de connaissance de la littérature relative à l'évolution de ce paramètre avec le froid.

Bibliographie

1. A. G. (2018). IFFECACITE DE IMMERSSION EN L EAU FROIDE SUR LA RECUPERATION PHYSIQUE. CRIAVITE SPORTIVE M SILA(N SPESIAL), 115.
2. Al Haddad H, L. P. (2009). Influence of cold water face immersion on post-exercise parasympathetic reactivation. Eur J Appl Physiol, Oct 31.
3. DUFFIELD. (2010). 60. Changes in lipid profile in response to three different protocols of whole-body cryostimulation treatments. JOURNA OF THERMABLOGY, 61(22).
4. gazzi. (2001). football et les theiorie de entrainement. 108.
5. GOUOIL, A. (2018). EFFER DE IMMERSION EN EAU FROIDE SUR LA RECUPERATION PHYSIQUE. CREIAVITE SPORTIVE M SILA(N SPECIAL), ALGERIE.
6. HANSSON. (2008). PERFORMANCE ET RECUPERATION PHYSIQUE. IENST PARIS, 11(NECIAL SP), FRANCE.
7. KENTA, g. a. (2002). prevantion du surentrainement evaluation et technique de recuperation. PARIS, FRANCE: MASSON.
8. linaaarsson, f. e. (2011). recuperation physique. medecine du sport, 4(2), FRANCE.
9. M, I. (2011). REFERENCIER DU ENTRAINEMENT. AMAN: DAR WAIL LI NACHER.
10. MOHAMED, N. (2017). EFFE DE RECUPERATION ACTIVE SUR LA PERVARMANCE SPORTIVE. CREIATIVITE SPORIVE M SILA, 1(N SPESIALE).
11. otman, b. (2020). non-expansive tests of the anaerobic threshold relate to endurance performance in practising athletes. criavite sportive, 201.
12. Hausswirth, C. Récupération et performance en sport. Paris : INSEP, 2010.

13. Micklewright, Dominic, et al. Mood state response to massage and subsequent exercise performance. *Sport psychologist*. 2011 Vol. 19, 3.
14. Jansky, L, et al. Immun system of cold-exposed and cold-adapted humans. *European journal of applied physiology and occupational physiology*. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 1996 йил, Vol. 72, 5-6.
15. Hausswirth, C, et al. Réponse 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*. Elsevier Masson, 2010 йил, Vol. 12, 001.
16. Martens, Rainer, Vealey, Robin S et Burton, Damon. *Competitive anxiety in sport.s.l.* : Human Kinetics, 1995. pp. 7-8.
17. Kentta, G and Hassmen, P. *Prévention du surentraînement Evaluation et techniques de récupération*. Paris : Masson, 2002.
18. Geoffroy, C. Les différents moyens de récupération après effort (1ère partie). *Sport Medecine*, 2001 йил, 131.
19. Demarais, Y and Collectif. *La récupération du sportif blessé*. Paris : Expansion Scientifique Française, 2002.
20. Stamford, BA, Rowland, R and Moffatt, RJ. Effects of severe prior exercise on assessment of maximal oxygen uptake. *Journal of applied physiology*. 1978 йил, Vol. 44, 4.
21. Bogdanis, GC, et al. Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of applied physiology*. 1996 йил, Vol. 80, 3
22. Castagna, C, Abt, G and D'Ottavio, S. Physiological aspects of soccer refereeing performance and training. *Sports Medicine*. 2007 йил, Vol. 37

7, pp. 625-646.

23. McEneaney, Cm, Jenkins, DG and Barnett, C. The relationship between plasma potassium concentration and muscle torque during recovery following intense exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997 йил, Vol. 75, 5, pp. 462-6.

24. Martin, Vincent, et al. Effects of Recovery Modes after Knee Extensor Muscles Eccentric Contractions. *Med. Sci. Sports Exerc*. 2004 йил, Vol. 36, 11, pp. 1907-15.

25. Compte rendu officiel du Colloque «Processus de récupération de l'exercice physique».

26. CNAPS, Colloque du. Paris : Elsevier Masson, 2003.

27. Hemmings, Brian, et al. Effects of massage on physiological restoration, perceived recovery, and repeated sports performance. *BrJ SportsMed*. 2000 йил, Vol. 34, 2, pp. 109- 14.

28. Rubini, Ercole, Costa, André and Gomes, Paulo. The effects of stretching on strength performance. *Sports Medecine*. 2007 йил, Vol. 37, 3.

29. Robey, E, et al. Effect of post exercise recovery procedures following strenuous stair- climb running. *Research in sports medicine*. 2009 йил, Vol. 17, 4.

30. Montgomery, PG, et al. The effect of recovery on physical performance and cumulative fatigue in competitive basketball. *Journal of Sports & Sciences*. 2008 йил, Vol. 26, 11.

31. How the sauna affects the endocrine system. Kukkonen-Hurjula, K et Kauppinen, K. 4, 1988, *Ann Clin Res*, Vol. 20, pp. 262-66.

32. Physiological response to water immersion : a method for sport

- recovery? Wilcock, IM, Cronin, JB et Hing, Wa. 9, 2006, Sports Med, Vol. 36, pp. 747-65.
33. Mucosal inflammation and bronchial hyperreactivity. Laitinen, La et Laitinen, A. 5, 1988, Eur Respir J, Vol. 1, pp. 488-89.
34. Peiffer, J, et al. Effect of a 5-min cold-water immersion recovery on exercise performance in the heat. Br J Sports Med. 2010 йил, Vol. 44, 6, pp. 461-65.
35. Haemodynamic changes in man during immersion in water at different temperatures.
36. Weston, CF, et al. 6, 1987, Clin Sci Lond, Vol. 73, pp. 613-16.
37. Neric, FB, et al. Comparison of swim recovery and muscle stimulation on lactate removal after sprint swimming. Journal of strength and conditioning research. Masson, 2009 йил, 23.
38. Tong, KC, Lo, SK and Cheing, GL. Alternating frequencies of transcutaneous electric nerve stimulation : does it produce greater analgesic effects on mechanical and thermal pain thresholds ? Archives of physical medicine and rehabilitation. Masson, 2007 йил, Vol. 88, 10.
39. Berry, MJ, et al. The effects of elastic tights on the post-exercise response. Journal canadien des sciences du sport, 1990 йил, 72.
40. Duffield, Rob, Cannon, Jack and King, Monique. The effects of compression garments on recovery of muscle performance following high intensity sprint and plyometric exercise. Journal of Science and Medicine in Sport. Elsevier Masson, 2010 йил, 13.
41. Bussièrès, P and Bruat, J. Agents Physiques en réadaptation théorie et pratique. s.l.: De Boeck Université, 2001.
42. Construction and initial characterization of a mouse-human chimeric anti-TNF antibody.

43.Knight, DM, et al. 16, 1993, Mol Immunol, Vol. 30, pp. 14443-53.