UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

# REVUE SYSTÉMATIQUE ET MÉTA-ANALYSE SUR L'IMPORTANCE DE LA CAPACITÉ AÉROBIE AU BASKETBALL

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN KINANTHROPOLOGIE

PAR
DHIA OMAR AMARA

MARS 2021

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

*Avertissement*

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.10-2015). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

# REMERCIEMENTS

J’aimerai remercier monsieur Alain-Steve Comtois, madame Kelsey Needham-Dancause, monsieur Bernard Paquito, madame Jill Vandermeerschen ainsi qu’à monsieur Réjean Dubuc de m’avoir assisté, chacun à sa manière, dans cette revue systématique et méta-analyse. Aussi, j’aimerais remercier ma petite famille, mes amis proches et mes collègues de m’avoir motivé à franchir les étapes difficiles durant ces trois années.

DÉDICACE

*À ma petite famille, qui a traversé des kilomètres, qui a recommencé à zéro et qui est restée solidaire dans le but de réussir tous ensemble et avoir un meilleur avenir.*

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES ..... vi

LISTE DES TABLEAUX ..... viii

RÉSUMÉ ..... ix

INTRODUCTION ..... 1

CHAPITRE I PROBLÉMATIQUE ..... 3
1.1 Introduction spécifique ..... 3
1.2 Objectif de la recherche ..... 3
1.3 Question de recherche ..... 4
1.4 Énoncé du problème ..... 4
1.5 Hypothèse ..... 4
1.6 Limites ..... 5
1.7 Importance ..... 5
1.8 Connaissances spécifiques ..... 5

CHAPITRE II REVUE DE LA LITTÉRATURE ..... 6
2.1 Systèmes énergétiques ..... 6
2.2 Métabolisme aérobie ..... 8
2.3 Métabolisme anaérobie ..... 10
2.4 Lactate et la performance en basketball ..... 13
2.5 Fatigue musculaire et lactate ..... 16
2.6 Fréquence cardiaque ..... 21
2.7 Charte de perception d'effort ..... 23
2.8 La consommation maximale d'oxygène ..... 28
2.9 Sprints répétés ..... 33

2.9.1 Phosphocréatine et sprints répétés ..... 33
2.9.2 Système glycolytique et sprints répétés ..... 35
2.9.3 Métabolisme aérobie et sprints répétés ..... 37

CHAPITRE III MÉTHODOLOGIE ..... 40
3.1 Stratégies de recherche ..... 40
3.1.1 Recherche automatique ..... 40
3.1.2 Recherche Manuelle ..... 41
3.2 Critères d'inclusion et d'exclusion ..... 42
3.2.1 Duplicata ..... 42
3.2.2 Titre et résumé ..... 42
3.2.3 Texte ..... 42
3.2.4 Critère spécifique à la méta-analyse ..... 43
3.3 Extraction et classification de données ..... 43
3.3.1 Extraction et classification de données pour la méta-analyse ..... 43
3.4 Quantification et analyse ..... 44
3.4.1 Méta-analyse ..... 44

CHAPITRE IV RÉSULTATS DE LA MÉTA-ANALYSE ..... 47
4.1 Résultats de la revue systématique ..... 47
4.2 Résultat de la méta-analyse ..... 49

CHAPITRE V DISCUSSION ..... 51
5.1 Résultat de la recherche ..... 51

CHAPITRE VI CONCLUSION ..... 55

RÉFÉRENCES ..... 56

LISTE DES FIGURES

Figure Page

2.2 Relations entre les différents substrats énergétiques ..... 7

2.3 Reynthèse d'ATP à partir de l'oxydation du glucose ..... 9

2.5 Synthèses d'ATP à partir du système ATP-PCr ..... 12

2.6 Glycolyse anaérobique ..... 13

2.8 Structure chimique d'un acide lactique en haut et du lactate en bas ..... 17

2.9 Structure chimique d'un lactate ..... 18

2.10 Synthèse d'ATP ..... 19

2.11 Exemple de la trajectoire du lactate sanguin qui arrive à un plateau suite à l'augmentation de l'intensité ..... 31

2.12 Exemple de la trajectoire du quotient respiratoire qui arrive à un plateau suite à l'augmentation de l'intensité ..... 32

2.13 La production de l'ATP à partir du métabolisme anaérobie lors du premier et du dernier sprint sur ergocycle ..... 34

2.14 L'influence de la disponibilité de l'oxygène sur la cinétique de resynthèse des phosphocréatines à la suite d'un effort sous-maximale de 5 minutes ..... 35

2.15 Consommation d'oxygène par le muscle de la cuisse durant la première minute d'un exercice d'une intensité de 120% de la VO2 ..... 37

2.16 Consommation d'oxygène du muscle de la cuisse lors de 2 exercices de 3 minutes chacun à 120% VO2max entrecoupée par 6 minutes de repos passif..... 38

2.17 Consommation d'oxygène durant 3 sprints de 30 secondes sur ergocycle séparé par 4 minutes de récupération ..... 38

3.1 Fisher Z = z; Corrélation = r..... 45

3.2 Variance = $V_z$,; Écart-type = $SE_z$ ..... 45

3.3 Shémas de l'analyse des corrélations suivant la méthode Fisher z..... 46

4.1 Diagramme flow du précédé de sélection des publications pour la revue ..... 48

4.2 Taille de l'effet de la VO2 max sur les sprints répétés ..... 50

LISTE DES TABLEAUX

Tableau Page

2.1 Échelle modifiée par Foster ..... 25

2.2 Échelle de BORG ..... 26

3.1 Classification des données de la méta-analyse..... 44

4.1 Corrélation entre les sprints répétés et la VO2 max dans articles retenus ..... 49

# RÉSUMÉ

L'objectif de cette revue systématique et méta-analyse est de clarifier et d'identifier la relation entre le métabolisme aérobie et les sprints répétés chez des athlètes élites de basketball pour permettre d'améliorer la planification des préparateurs physiques et d'optimiser le temps et la performance de leurs athlètes. Dans ma recherche bibliographique automatique grâce aux mots clés, j'ai utilisé des bases de données incontournables en sciences de l'activité physique soit PubMed, SCOPUS, SPORTDIiscus et ERIC. C'est une recherche systématique inspirée du modèle PRISMA avec les mots clés suivant : Basketball, Aerobic, Anaerobic, High-Intensity, Repeated sprint, intermittent, physiology et multiple sprint. Une recherche manuelle a été effectuée à partir de livre traitant la physiologie du basketball et à partir des listes de référence de tous les articles retenus. J'ai utilisé des critères d'inclusion afin de sélectionner les articles pertinents. Pour que les articles soient retenus, ils doivent être en langue française ou anglaise et traitent la relation entre les sprints répétés et le métabolisme aérobie et les sujets doivent avoir minimum 16 ans et doivent être des joueurs de basketball universitaire, semi-professionnel ou professionnel.

Mots clés : basketball, métabolisme aérobie, sprints répétés

# INTRODUCTION

Au basketball, par match, les joueurs exécutent environ 1000 mouvements, ce qui correspond à environ 24.1 mouvements par minute et où ,leurs mouvements varient toutes les 2-3 secondes (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007; Delextrat *et al.*, 2015; Schelling et Torres-Ronda, 2013). Les athlètes parcourent entre 4440m à 7558m avec des mouvements dans tous les sens (Crisafulli *et al.*, 2002; McInnes *et al.*, 1995b; Schelling et Torres-Ronda, 2013; Stojanovic *et al.*, 2017). Ils couvrent environ 114,5 ± 8,7 $m.min^{-}1$(Ben Abdelkrim *et al.*, 2010). Il est important de mentionner que le nombre de mouvements durant un match est identique pour les hommes et pour les femmes (Narazaki *et al.*, 2009). Les gestes de haute intensité sont loin d'être des mouvements dans lesquels l'athlète se donne à 100% (McInnes *et al.*, 1995b). Les actions de moyenne à haute intensité ont un ratio de 1:1. Chacune dure environ 15 secondes et elle est suivie de 15 secondes de repos (Narazaki *et al.*, 2009). Les actions de haute à maximale intensité ont un ratio de 1:10. Chacune dure 2-5 secondes et elle est suivie d'environ 20 secondes de récupération(Ben Abdelkrim *et al.*, 2007). McInnes *et al.,* (1995) ont mentionné qu'en moyenne un joueur masculin senior exécute 105 courses à haute intensité, ce qui donne une action à haute intensité toutes les 21 secondes. En 2007, Ben Abdelkrim *et al.* ont mentionné qu'en moyenne un joueur espoir (U-19) exécute environ 55 courses à haute intensité, ce qui donne une action toutes les 39 secondes. Souvent durant un match, les athlètes effectuent des actions complexes qui comportent plusieurs gestes et mouvements et qui ne dépassent pas 13.5 secondes (McInnes *et al.*, 1995b). Les actions complexes comportent des sprints avant, des courses arrière, des déplacements latéraux ainsi que des accélérations et décélérations.

On retrouve une variété multidirectionnelle de mouvements (Crisafulli *et al.*, 2002; Montgomery *et al.*, 2010). Ces mouvements demandent beaucoup plus d'énergie que de courir simplement en avant. Une des composantes importantes dans le sport du basketball est la capacité d'accélérer et de décélérer rapidement.

Les fréquences cardiaques moyennes durant les matchs varient entre 87%-95% $FC_{max}$(Ben Abdelkrim *et al.*, 2007; Schelling et Torres-Ronda, 2013). Cette variation dépend de l'âge, de la position, du niveau de jeu (amateur ou professionnel), de la stratégie tactique et de la condition physique des joueurs (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007). Par contre, la fréquence cardiaque maximale notée durant un match est en moyenne entre 188-195 battements par minute que ce soit pour les hommes ou pour les femmes (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007; McInnes *et al.*, 1995b; Montgomery *et al.*, 2010; Narazaki *et al.*, 2009; Rodriguez-Alonso *et al.*, 2003; Schelling et Torres-Ronda, 2013). La fréquence cardiaque moyenne durant un match est beaucoup plus élevée que ce que le petit nombre d'actions à haute intensité reflète. La fréquence cardiaque n'est pas influencée seulement par les contre-attaques répétitives, les multiples accélérations, les décélérations, les changements de direction, mais aussi par l'implication des membres supérieurs (bloquer, passer et lancer) (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007).

Pendant 75% du temps de jeu réel, les joueurs ont en moyenne une fréquence cardiaque plus élevée que 85% de la $FC_{max}$. Plus en détail, les joueurs ont une fréquence cardiaque entre 90 et 95% $FC_{max}$ pendant environ 45% du temps de jeu réel et pendant 15% de jeu réel une fréquence cardiaque plus élevée que 95% $Fc_{max}$(McInnes *et al.*, 1995b).

# CHAPITRE I

# PROBLÉMATIQUE

## 1.1 Introduction spécifique

Le basketball est considéré par plusieurs comme un sport intermittent en raison des actions à haute intensité soutenues durant un match et la sollicitation des filières aérobies et anaérobies (Schelling et Torres-Ronda, 2013). Une capacité aérobie est ultimement nécessaire dans ce sport pour permettre aux athlètes d'enchaîner des courses à hautes intensités et de récupérer rapidement afin de pouvoir poursuivre l'effort (Stone et Kilding, 2009).

## 1.2 Objectif de la recherche

L'objectif de cette recherche est d'effectuer une comparaison systématique de tous les articles qui traitent la relation entre le métabolisme aérobie et les sprints répétés chez des joueurs de basketball élite sachant que la capacité à répéter des sprints est un indicateur de performance important au basketball. Nous allons identifier les critères que ces chercheurs ont utilisés pour analyser cette corrélation et les analyser.

## 1.3 Question de recherche

Quelle est la relation entre le métabolisme aérobie et les sprints répétés chez des joueurs de basketball élite?

## 1.4 Énoncé du problème

Le basketball est un sport dans lequel plusieurs courses à haute intensité sont répétées. Vu qu'il est difficile de mesurer la consommation d'oxygène durant un match de basketball, la plupart des recherches se basent soit sur la relation entre la consommation d'oxygène et la fréquence cardiaque mesurée en laboratoire et la fréquence cardiaquedurant un match. De par cette relation, il est donc possible d'effectuer une analyse de la relation potentielle entre la capacité à répéter des sprints et la $VO_2$max des athlètes afin de déterminer l'importance du métabolisme aérobie dans ce sport. Ce projet vise donc à regrouper, à l'aide d'une revue systématique, les données dans la littérature afin d'analyser et de critiquer les résultats de ces articles. Ce travail permettra de mieux comprendre la relation entre le basketball et les filières énergétiques qui sont importantes pour ce sport.

## 1.5 Hypothèse

L'hypothèse est qu'il y a une corrélation entre lemétabolisme aérobie et les sprints répétés chez les joueurs de basketball au niveau élite.

## 1.6 Limites

La première limite est que peu d'études ont mesuré la corrélation entre les sprints répétés et le métabolisme aérobie.

## 1.7 Importance

Clarifier et identifier la relation entre le métabolisme aérobie et les sprints répétés chez des athlètes de basketball élite permettra d'améliorer la planification des préparateurs physiques et d'optimiser le temps et la performance de leurs athlètes.

## 1.8 Connaissances spécifiques

Lors d'un sprint maximal, la majorité où presque la totalité d'adénosine triphosphate (ATP) provient du métabolisme phosphocréatine (PCr). Durant une séquence de sprints répétés, les réserves de PCr s'épuisent rapidement et il faut les recharger. Le métabolisme aérobie est le système responsable de la resynthèse de PCr.

Plusieurs spécialistes considèrent qu'il n'y a aucune relation entre la $VO_2$max et la performance au basketball. Toutefois, ils sont d'accord sur le fait que ce sport dépend principalement de la capacité à répéter des sprints.Ces spécialistes partagent l'idée que la capacité aérobie n'a pas d'importance dans ce sport, car il n'y a pas de corrélation entre la capacité aérobie et les sprints répétés (Alizadeh et Hovanloo, 2010; Apostolidis *et al.*, 2004; Cipryan et Gajda, 2011; Tavino et Bowers, 1995).

# CHAPITRE II

# REVUE DE LA LITTÉRATURE

## 2.1 Systèmes énergétiques

Tout fonctionnement du corps humain dépend de la quantité d'ATP disponible (Glaister, 2005). Pour qu'une contraction musculaire se produise, il faut de l'énergie sous forme d'ATP. Lorsque l'enzyme ATPase joue son rôle et hydrolyse l'ATP, on obtient de l'Adénosine Diphosphate (ADP), un phosphate ($P_i$) et de l'énergie. C'est de cette manière que l'ATP fournit de l'énergie (Glaister, 2005). On appelle ce processus, l'hydrolyse. C'est la séparation d'une liaison covalente par une molécule d'eau.

$$ATP \underset{ATPase}{\rightleftharpoons} ADP + P_i + energy$$

Figure 2.1 Hydrolyse de l'adénosine triphosphate(Glaister, 2005)

La première source d'ATP pour la contraction musculaire est la source intracellulaire de la fibre musculaire et qui malheureusement n'est pas très élevée en termes de quantité (5-6 mM). Cette réserve peut s'épuiser en 2 secondes si le muscle est complètement contracté. Heureusement, le corps humain contient des régulateurs qui détectent les efforts et essayent de combler les besoins des cellules en ATP pour un fonctionnement continu (Westerblad *et al.*, 2010).

Il y a deux métabolismes qui fournissent l'énergie sous forme d'ATP à l'organisme :

- Métabolisme Aérobie ;
- Métabolisme Anaérobie :
  - Anaérobie Alactique
  - Anaérobie Lactique

Les métabolismes aérobie et anaérobie contribuent ensemble pour fournir de l'ATP aux cellules musculaires (Figure 2.2). Par contre, il a été souvent et longtemps mentionné et parfois mal interprété que le métabolisme aérobie ne contribue que lors d'un effort de longue durée et faible en intensité. Astrand et Rodahl (1970) ont démontré que pour un exercice maximal de 2 minutes, l'apport d'énergie des deux systèmes aérobie et anaérobie a été équitable (Astrand et Rodahl, 1970). Chaque système énergétique a ses points forts. Les deux interagissent simultanément avec une bonne coordination pour faire face aux diverses demandes énergétiques et fournir l'ATP nécessaire (Gastin, 2001).

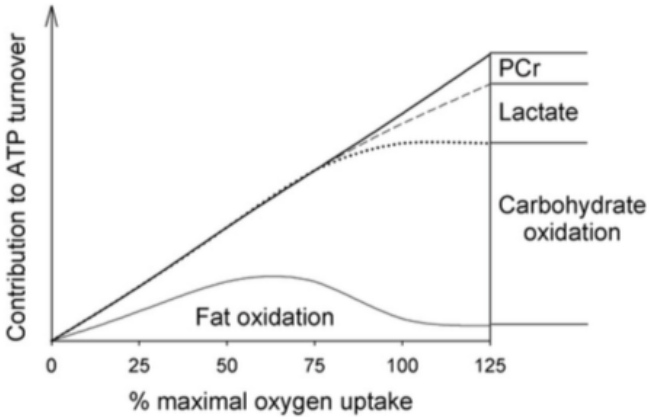


Figure 2.2 Relations entre les différents substrats énergétiques (Sahlin, 1986)

## 2.2 Métabolisme aérobie

Le système aérobie ou système oxydatif produit de l'énergie en consommant de l'oxygène. Il a la capacité de fournir beaucoup d'énergie (38 ATP), comme illustré dans la figure 2.3, mais n'a pas la capacité de la fournir rapidement (Gastin, 2001). Il dépend de la phosphorylation oxydative, du système respiratoire et cardiovasculaire et de leurs capacités à livrer l'oxygène au muscle (Gastin, 2001). La mitochondrie est l'organisme responsable de la production de l'énergie aérobie dans le corps humain. L'oxygène inspiré est acheminé aux mitochondries à travers le sang. Il est transformé en énergie (ATP) grâce aux glucides, au catabolisme des triglycérides ou parfois des acides aminés. Lorsque l'intensité de l'exercice est élevée, le substrat préféré est le glucide, mais lorsque l'intensité est faible et l'exercice est prolongé, le substrat préféré est les triglycérides (lipide). Ces derniers sont des lipides emmagasinés dans les cellules adipeuses et dans les cellules musculaires. L'enzyme lipase les dégrade en glycérol et 3 acides gras libres. Les acides gras libres sont transportés dans les fibres musculaires grâce au flux sanguin. À l'intérieur de la cellule musculaire, la mitochondrie les dégrade (catabolisme des glycérols). Les lipides fournissent le double d'énergie que les glucides fournissent et leurs réserves sont plus grandes. Le muscle en question prend ses glucides de trois façons. La première, il utilise le glycogène qui est emmagasiné en lui-même. La deuxième, il utilise du glucose acheminé par le sang qui provient du foie (Catabolisme du glycogène). La troisième, il utilise le glucose anabolisé à partir de glycérol, pyruvate, lactate et acides aminés grâce à la gluconéogenèse (Anabolisme du glucose).

Avec le temps, l'intensité de l'exercice diminue et les réserves de glycogènes dans le muscle commencent à s'épuiser, ce qui amène l'organisme à prendre l'énergie du glucose dans le sang et des lipides. Lorsque l'intensité dépasse 60% de la $VO_{2max}$, on remarque une augmentation de la dégradation du glucose (Oxydation du glucose). En effet, durant un travail maximal, l'ATP provenant du métabolisme aérobie est

resynthétisée de l'oxydation du glucose. Durant les 6 premières secondes d'un sprint maximal de 30 secondes, le système aérobie synthétise environ 1.32 mmol ATP/kg de muscle par seconde (Parolin *et al.*, 1999). Dans le muscle, le glucose est emmagasiné sous forme de glycogène et le métabolisme aérobie utilise ce dernier pour fournir l'ATP en premier lieu. Plus l'exercice se prolonge, plus le glucose provient de l'extérieur de la cellule musculaire (Westerblad *et al.*, 2010).

$$C_6H_{12}O_6 \text{ (glucose)} + 6O_2 + 38 \text{ ADP} + 38 \text{ } P_i \longrightarrow 6 \text{ } CO_2 + 6 \text{ } H_2O + 38 \text{ ATP}$$

Figure 2.3 Reynthèse d'ATP à partir de l'oxydation du glucose (Glaister, 2005)

La contribution de l'oxydation des lipides dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice. Le substrat énergétique des lipides s'appelle acide gras libre qui est un dérivé des triglycérides emmagasinés dans le muscle et dans le tissu adipeux (adipocyte). La contribution de ce système est maximale lors d'un effort égal ou inférieur à 60% de la $VO_2$ max. Plus l'intensité augmente, plus la contribution des lipides diminue à soutenir l'effort physique (Westerblad *et al.*, 2010).

En 1988, Kavanagh*et al.* ont évalué la contribution du métabolisme aérobie lors du test Wingate de 30 secondes. Ils ont mentionné qu'elle a été de 18.5% (Kavanagh et Jacobs, 1988). D'autres chercheurs ont analysé la même chose et ont fini par trouver que la contribution aérobie est entre 23% et 33% lors d'un exercice maximal qui a duré 30 secondes (Calbet *et al.*, 1997; Gastin et Lawson, 1994; O'Brien et Gastin, 1997; Withers *et al.*, 1977).

En 1996, Bogdanis*et al.* ont effectué deux biopsies musculaires suite à deux sprintsmaximauxsur ergocyclede 30 secondes chacun, séparés par 4 minutes de repos, et ils ont trouvé que la consommation d'oxygène a augmenté de 18% lors du deuxième sprint.Lorsqu'ils ont comparé les deux sprints, ils ont trouvé que la puissance produite

avait diminué de 18% et la resynthèse d'ATP à partir du métabolisme anaérobie abaissé de 41%. Cela est expliqué par l'élévation de la consommation d'oxygène et la contribution du métabolisme aérobie. On comprend que plus le nombre de répétitions à intensité maximale augmente, plus la contribution anaérobie à fournir de l'ATP diminue et plus la contribution du métabolisme aérobie augmente, et forcément plus la consommation d'oxygène augmente(Bogdanis, G. C. *et al.*, 1996a).

En 1993, Gaitanos*et al.* ont analysé la contribution énergétique du métabolisme aérobie lors de dix sprints répétés d'une durée de 6 secondes chacun. La puissance a baissé de 27% et la quantité d'ATP provenant du métabolisme anaérobie a baissé de 64.4% parce que le système anaérobie est devenu presque inefficace au bout du 10e sprint. Le métabolisme aérobie a eu une importante contribution durant les 10 sprints(Gaitanos *et al.*, 1993).

En 1996, une table ronde a réuni des entraîneurs et des scientifiques du sport pour discuter de la contribution du métabolisme aérobie lors de l'épreuve de 800m. Cette course dure entre 1.5 minute à 2 minutes. À la fin de la rencontre, il a été constaté que sa contribution varie entre 35% et 65% (NSART, 1996). D'autres investigations ont été faites relativement à cette épreuve et il a été convenu que la contribution aérobie dans ce type de course varie entre 55% et 65% (Di Prampero *et al.*, 1993; Hill, D. W., 1999).

Il faut noter que lorsque la distance à parcourir ou le temps d'effort augmente, la contribution en aérobie augmente et l'apport d'ATP du métabolisme anaérobie diminue (Ramsbottom *et al.*, 1994).

## 2.3 Métabolisme anaérobie

Dans ce métabolisme, nous retrouvons deux systèmes qui resynthèses l'ATP identifié de la façon suivante, faute d'une meilleure nomenclature, mais qui présente bien les situations de synthèse d'ATP:

- Anaérobie alactique :
    - Système ATP-PCr
- Anaérobie lactique :
    - Système glycolytique

Le système qui fournit de l'énergie immédiatement et rapidement s'appelle anaérobie alactique(Glaister, 2005). Grâce à ce métabolisme, un athlète est capable de produire une puissance plus élevée que celle produite par le métabolisme aérobie.

Le système ATP-PCr (Phosphocréatine) produit de l'énergie rapidement sans consommation d'oxygène. Ce système est important lors des activités explosives (Westerblad *et al.*, 2010). Dans le muscle, les stocks d'ATP sont d'environ 20-25 mmol/kg de muscle sec et lors d'un exercice maximal, ce stock s'épuisera en 1-2 seconde(s) à raison de 15mmol ATP/kg de muscle par secondes (Bogdanis, G. *et al.*, 1998; Gaitanos *et al.*, 1993; Parolin *et al.*, 1999). Lorsque cette quantité d'ATP emmagasinée commence à s'épuiser, d'autres systèmes entrent en jeu pour la resynthèse. Il faut noter que les réserves d'ATP dans la cellule musculaire ne diminuent jamais de plus de 40% des réserves au repos en cas d'exercices extrêmes tandis que les réserves de PCr peuvent être épuisées(Bangsbo *et al.*, 1990; Glaister, 2005; Jacobs *et al.*, 1982).

Les stocks de phosphocréatines sont entre 70 et 80 mmol/kg de muscle sec (Gastin, 2001). Lors d'une contraction musculaire maximale, la quantité des PCr subit une dégradation majeure durant les 10 premières secondes et presque une dégradation totale au bout de 50 secondes (Figure 2.4) (Glaister, 2005; Hultman et Sjoholm, 1983).

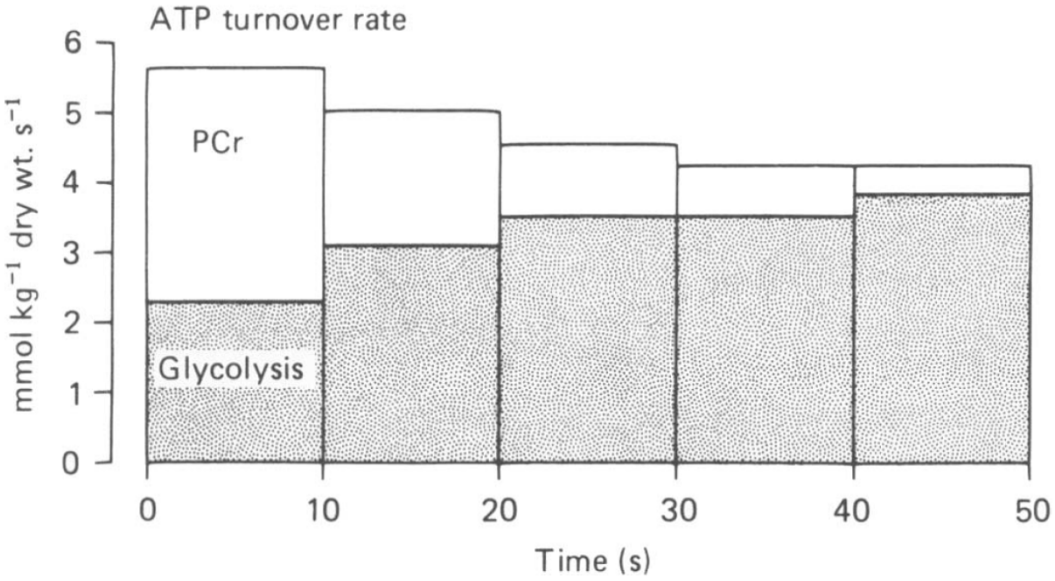


Figure 2.4 Contributions de la glycolyse et de la PCr dans la resynthèse d'ATP lors d'une stimulation électrique de 20 Hz au droit fémoral du quadriceps (Hultman et Sjoholm, 1983)

Le système PCr peut synthétiser jusqu'à 9 mmol ATP/kg de muscle sec par seconde, ce qui peut entraîner l'épuisement de ses réserves en moins de 10 secondes (Glaister, 2005; Hultman et Sjoholm, 1983).

$$PCr + ADP + H^{+} \underset{\text{Creatine kinase}}{\rightleftharpoons} ATP + Cr$$

Figure 2.5 Synthèses d'ATP à partir du système ATP-PCr(Glaister, 2005)

Le système glycolytique nécessite la dégradation du glycogène principalement stocker dans le muscle pour le transformer en glucose et par la suite obtenir du lactate et de l'ATP. Cette source d'énergie s'active très tôt dans un exercice à intensité maximale, après environ 5 secondes, et synthétise 6 à 9 mmol d'ATP/kg de muscle sec par seconde

(Gastin, 2001; Glaister, 2005; Hultman *et al.*, 1991; Hultman et Sjoholm, 1983; Jones *et al.*, 1985; Parolin *et al.*, 1999).

$$\text{Glycogen} + 3\ \text{ADP} + 3\ \text{P}_\text{i} \longrightarrow 3\ \text{ATP} + 2\ \text{lactate}^- + 2\ \text{H}^+$$

Figure 2.6 Glycolyse anaérobique (Glaister, 2005)

Les systèmes anaérobies sont capables de fournir de l'ATP rapidement, mais sont limités par la quantité qui peut être libérée dans un d'exercice intense (Gastin, 2001; Hultman *et al.*, 1991).

Pour avoir des puissances élevées, l'athlète a besoin d'ATP provenant du métabolisme anaérobie. La dégradation des PCr et de la glycolyse donne approximativement 15 mmol d'ATP/kg masse musculaire/seconde durant les six premières secondes d'un sprint ou d'un exercice d'intensité maximale. Dans une activité à haute intensité, on note que 50% de l'ATP provient de la dégradation de la PCr(Lakomy, 2000). Lorsqu'un exercice intense débute, la dégradation des PCr est à son maximum et elle commence à baisser après 1.3 seconde, mais de l'autre côté, la dégradation de la glycolyse n'atteint son maximum qu'à partir de la cinquième seconde, mais ça ne dure que peu de temps (Maughan, 1997).

## 2.4 Lactate et la performance en basketball

La mesure de la concentration du lactate sanguin est une méthode souvent utilisée pour tester la performance des athlètes (Goodwin *et al.*, 2007). La concentration du lactate sanguin peut fournir de l'information sur la source d'énergie utilisée par le muscle (Rodriguez-Alonso *et al.*, 2003). Elle est utilisée pour estimer la contribution de l'anaérobie glycolytique dans un exercice donné (Gastin, 2001; McInnes *et al.*, 1995b).

Rodriguez *et al.,* (2003) suggèrent que la mesure de la concentration du lactate sanguin est une méthode plus précise pour mesurer les intensités des exercices que la mesure de la fréquence cardiaque. La fréquence cardiaque est astreinte par la thermorégulation, surtout avec lors des sprints répétés, et ne présente pas uniquement l'effort physique. Tandis que le lactate est directement lié avec l'effort physique.

Lorsque l'intensité d'un exercice excède le $VO_2$max, la quantité d'oxygène disponible ne peut pas subvenir au besoin de l'athlète et une accumulation du lactate dans le sang se produit (Di Prampero, 1981). Le taux de lactate au repos est d'environ 1-2 mmol/l. Les concentrations du lactate sanguin durant un match de basketball varient entre 3.7 et 13.2 mmol/l dépendamment de la position de l'athlète et du moment de la prise de sang(Ben Abdelkrim *et al.*, 2007). Par contre, les valeurs moyennes de concentration en lactate sanguin dans un match sont entre 2.7 et 6.8 mmol/l(Stojanovic *et al.*, 2018). Il est apparu que les réponses du lactate sanguin au cours d'un match de basketball sont presque similaires pour les femmes et les hommes (Narazaki *et al.*, 2009). En moyenne, McInnes *et al* ont trouvé que la concentration de lactate sanguin est de 6.8 mmol/l pour des joueurs masculins professionnels tandis que Rodriguez *et al* ont trouvé une valeur moyenne de 9.7 mmol/l pour des joueuses féminines professionnelles. Dans l'étude de Rodriguez et al (2003), le lactate mesuré a été au-dessus du seuil lactique et donc il a été suggéré que le métabolisme glycolytique joue un rôle important dans la fourniture de l'énergie du basketteur. La mesure de la concentration du lactate est un bon moyen pour mesurer la contribution du métabolisme glycolytique (McInnes *et al.*, 1995b).

Les meneurs (point garde) ont une concentration de lactate sanguin plus élevé comparé aux autres positions, ce qui est logique au fait de leurs engagements dans les nombreuses actions à haute intensité (Rodriguez-Alonso *et al.*, 2003). Dans deux études publiées en 2003 et 2007 et qui ont pour sujet des hommes et des femmes, les chercheurs ont trouvé que les meneurs ont eu une concentration en lactate de 7,7 et 6,4 mmol/l comparé aux ailiers 4,2 et 5,5 mmol/l ou encore aux pivots qui ont eu des valeurs de 3,9 et 4,9 mmol/l (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007; Rodriguez-Alonso *et al.*, 2003). Le taux de lactate sanguin mesuré à la mi-temps est plus élevé que le taux

mesuré à la fin du match. On peut expliquer cela par la baisse d'action à haute intensité durant le troisième et quatrième quart et les arrêts fréquents (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007).

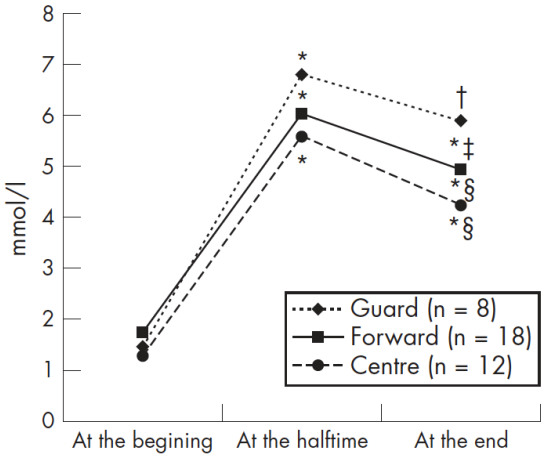


Figure 2.7 Concentration du lactate sanguin à différentes positions(Ben Abdelkrim *et al.*, 2007)

Il faut faire la différence entre la concentration musculaire de lactate et la concentration sanguine en lactate. La première diminue plus vite que la deuxième et elle atteint un sommet après que l'exercice soit terminé (Gollnick *et al.*, 1986). Néanmoins, la mesure du lactate sanguin peut fournir une idée de la contribution du système glycolytique (Gastin, 2001). Les joueurs de basketball doivent avoir une grande capacité à éliminer le lactate du sang et du muscle afin l'utiliser encore dans la resynthèse d'ATP et de maintenir un niveau de performance élevé. Il est important de mentionner que l'élimination rapide du lactate par oxydation permet une resynthèse rapide de glycogène intramusculaire et donc une bonne capacité aérobie est utile dans ce cas (Ben Abdelkrim *et al.*, 2007). Dans certaines périodes du match, McInnes et al (1995) ont remarqué une baisse dans la concentration du lactate sanguin et cela s'explique par la prédominance du métabolisme aérobie, ainsi que le système phosphocréatine.

## 2.5 Fatigue musculaire et lactate

La fatigue musculaire se définit par la réduction de la capacité du muscle à produire de la force (Baker *et al.*, 2010). Toute fatigue musculaire coïncide avec une diminution des réserves d'ATP dans le muscle (Baker *et al.*, 2010). La fatigue est essentielle, car elle prévient le corps humain d'atteindre un stade où le taux d'ATP est très faible, car cela peut causer des dommages (Baker *et al.*, 2010). La fatigue peut se diviser en deux catégories :

- fatigue centrale ;
- fatigue périphérique.

Lorsqu'on tente de trouver la cause de la fatigue musculaire, certains considèrent que la cause est centrale et d'autre périphérique. Il est certain que n'importe quel morceau de toute la chaîne, du cerveau jusqu'au muscle, peut contribuer à la fatigue.Plusieurs entraîneurs relient encore l'acidose, qui survient lors de l'accumulation du lactate, avec la fatigue, mais cette information est aujourd'hui controversée et considérée même fausse. Il est certain que les informations liées à ce sujet sont loin d'être clarifiées.

La première chose à mettre au clair est que le corps humain ne produit pas d'acide lactique, mais plutôt du lactate(Cairns, 2006). L'acide lactique est un composant acide qui libère un proton dans une solution et qui rend cette solution acide. Contrairement à toutes informations qui nous ont été révélées depuis 1900, le lactate ne libère pas de proton (ion d'hydrogène). Le lactate n'a pas d'ion $H^+$ à donner comme nous pouvons voir sur la figure 2.8 qui montre la structure chimique de l'acide lactique en haut et celle du lactate en bas (Figure 2.8) (Phillips, 2015).

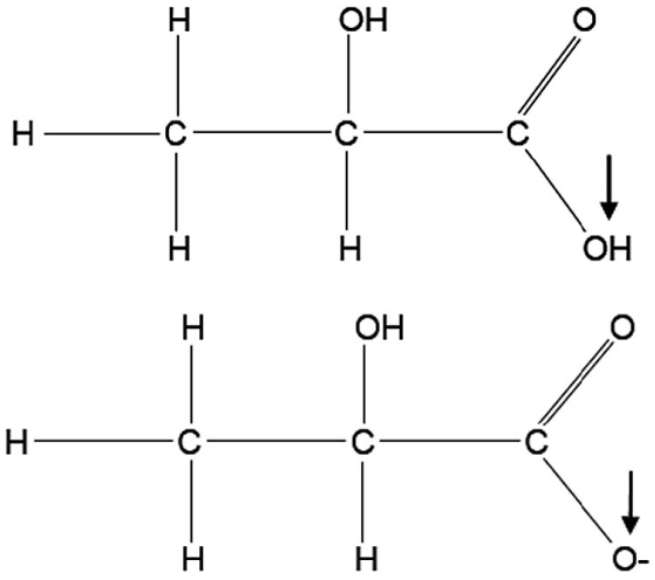


Figure 2.8 Structure chimique d'un acide lactique en haut et du lactate en bas (Phillips, 2015)

Durant la glycolyse, pour synthétiser de l'ATP, le glucose doit être dégradé et convertit en pyruvate qui par la suite entre dans le cycle de Kreb. À certains stades de la glycolyse, lors de l'hydrolyse de l'ATP, de l'hydrogène est produit (Figure 2.9).

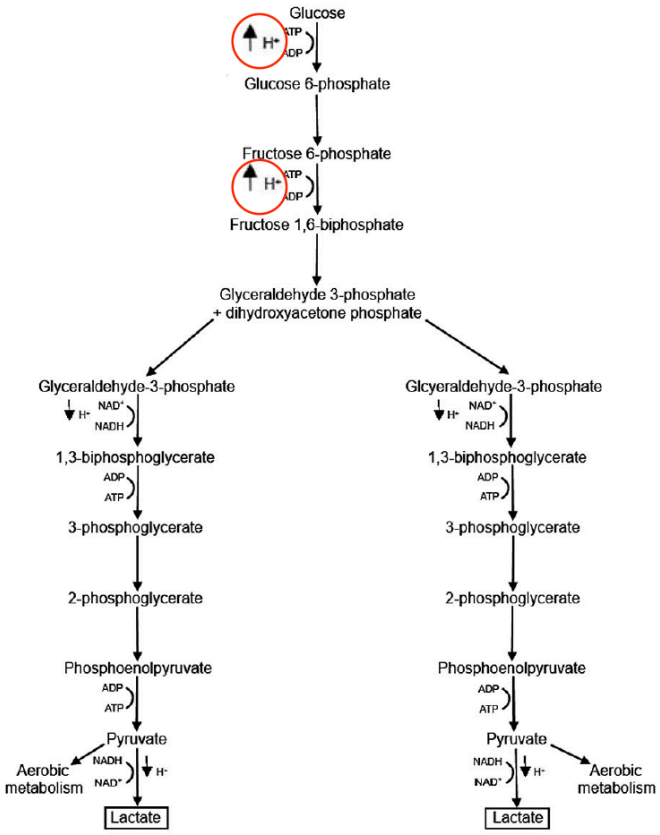


Figure 2.9 Structure chimique d'un lactate(Phillips, 2015)

Plus la glycolyse est sollicitée, plus les ions d'hydrogène sont produits (Brooks, G. A., 2010; Robergs, D. *et al.*, 2004; Robergs, R. A. *et al.*, 2005). Par exemple, durant un exercice intense, la mitochondrie ne peut pas utiliser tous les pyruvates qui sont produits par la glycolyse. Pour prévenir l'accumulation des pyruvates qui peut inhiber la glycolyse et donc la resynthèse d'ATP via le métabolisme aérobie et anaérobie, le pyruvate est converti en lactate (Lindinger *et al.*, 2005).

L'enzyme lactate déshydrogénase, qui facilite la conversion, consomme un ion hydrogène pour produire une nicotinamide adénine dinucléotide ($NAD^+$). Le $NAD^+$

prend le $H^+$ du cytosol et le transporte à la chaîne de transport d'électron où il joue un rôle important dans la synthèse d'ATP (Phillips, 2015).

$$\text{Pyruvate} + \text{NADH} + H^+ \xrightarrow[\text{dehydrogenase}]{\text{lactate}} \text{Lactate} + NAD^+$$

Figure 2.10 Synthèse d'ATP (Phillips, 2015)

Lorsque le taux de production d'$H^+$ est élevé, cela peut dépasser la capacité du $NAD^+$à l'éliminer. Dans ce cas, le $NAD^+$ deviendra saturé d'ions hydrogène. Il y aura une accumulation d'$H^+$ dans le cytosol qui peut augmenter l'acidité intramusculaire et qui peut nuire à l'intégrité et au fonctionnement des tissus. Ce qu'il faut retenir, c'est que la production du lactate a pour but d'alcaliniser l'environnement intracellulaire (Phillips, 2015).

Ainsi, le lactate est souvent considéré comme un déchet ou l'élément qui cause la fatigue, mais en réalité il est bénéfique. Les personnes atteintes de la maladie McArdle's, qui souffrent de l'incapacité à dégrader le glucose et par conséquent ne produisent pas de lactate, se fatiguent plus vite que les personnes qui produisent du lactate durant un exercice physique. Ceci est la preuve que le lactate joue un rôle important pour maintenir la performance et non le contraire (Phillips, 2015).

Deuxièmement, le lactate est une source d'énergie durant et après l'exercice. Près de 75% de tout le lactate produit durant l'exercice est utilisé comme énergie par le muscle(Phillips, 2015). Dans une course de 1500 mètres, environ 25% de l'énergie nécessaire provient du lactate (Brooks, G. A., 2009). L'utilisation du lactate comme source d'énergie est facilitée par la présence de la monocarboxylate transporteur (MCT)protéine (transporteur de lactate) dans le sarcolemme et la mitochondrie à l'intérieur des fibres musculaires qui facilitent le transport du lactate de fibre en fibre

et aussi à l'intérieur de la mitochondrie même pour une reconversion en pyruvate (Phillips, 2015). Après l'exercice, le lactate est aussi converti en glucose et stocké dans le foie. Ce processus est appelé la gluconéogenèse (Brooks, G. A., 2009). Il a été aussi rapporté que le cerveau, en plus d'utiliser le glucose comme source d'énergie, utilise le lactate pour générer l'énergie avant et après l'exercice (Cairns, 2006; Ide *et al.*, 2000).Dans d'autres recherches, les athlètes ont ingéré des suppléments en lactate et leurs performances ont été améliorées (Morris *et al.*, 2011). Le lactate rend le sang alcalin grâce à son effet tampon avec celui du bicarbonate, qui est un système tampon important du sang. La consommation du lactate augmente le gradient pH entre le muscle et le sang, ce qui facilite la sortie des ions $H^+$ du muscle vers le sang là où les $H^+$ peuvent être tamponnés par le bicarbonate (Phillips, 2015).

Les douleurs et courbatures ressenties suite à l'entraînement n'ont aucune relation avec la production du lactate. Le lactate est éliminé du muscle environ 1 heure après l'exercice (Monedero et Donne, 2000). La cause des douleurs et courbatures n'est pas claire encore, mais il se peut que cette sensation soit une réponse des nocicepteurs, qui se retrouvent dans le muscle, suite à leurs stimulations par les substances biochimiques comme le $H^+$, $K^+$ et les stresses mécaniques associés à la contraction musculaire (Mense, 2009). Il se peut aussi que les courbatures ressenties suite à un exercice soient dues à l'inflammation intramusculaire (Aminian-Far A, 2011).

Contrairement à ce qui a été dit dans certaines revues, l'acidose ne cause pas une baisse de force musculaire en ralentissant la libération du calcium du sarcoplasme. La libération du calcium est normale même dans un niveau de pH bas de 6.2 (Wada *et al.*, 2013). Puisque le calcium est nécessaire pour la contraction musculaire, si la quantité de calcium libéré est faible, alors le muscle se contractera avec moins de force. Lorsque le calcium ($Ca^{2+}$) est libéré du réticulum sarcoplasmique, il doit s'accrocher sur la troponine C pour que la contraction musculaire puisse se faire. Si le $Ca^{2+}$ ne s'accroche pas sur la troponine C, l'actine et myosine ne peuvent pas interagir et aucune contraction musculaire ne se produit. L'hydrogène est en compétition avec le calcium

pour s'accrocher à la troponine C et c'est à partir de là que l'idée de l'accumulation du $H^+$ à l'intérieur de la cellule musculaire qui réduit la force musculaire est apparue.
Il a été démontré que l'augmentation de l'acidose intramusculaire limite l'accrochage du $Ca^{2+}$ à la pompe du calcium, qui se trouve au réticulum sacro-plasmique, plus que l'accrochage du $Ca^{2+}$ à la troponine C. Cela augmente la quantité du $Ca^{2+}$ qui est libre de s'accrocher à la troponine C. Ainsi, l'acidité intramusculaire peut favoriser la production de la force musculaire plus que lors le pH est normal (Phillips, 2015).

## 2.6 Fréquence cardiaque

L'utilisation des fréquences cardiaques comme méthode pour quantifier l'intensité d'un exercice est une méthode valide (Rodriguez-Alonso *et al.*, 2003). Elle est en relation avec la consommation d'oxygène. Drust et al (2000) ont comparé la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène dans un exercice sur tapis roulant et les deux ont suivi la même courbe. D'autres études faites sur le terrain ont trouvé qu'il y a une corrélation positive entre les deux variables (Esposito *et al.*, 2004; Hoff *et al.*, 2002). Wicks*et al.,* en 2011, ont trouvé une relation robuste entre la fréquence cardiaque et la consommation d'oxygène. Ils ont même prédit la dépense énergétique grâce à cette relation (Wicks *et al.*, 2011). Par contre, il ne faut pas oublier que certains facteurs peuvent influencer la fréquence cardiaque comme le stress et le manque de sommeil. Les facteurs environnementaux peuvent aussi influencer la fréquence cardiaque comme la température, l'humidité, l'adrénaline, l'altitude et la pression atmosphérique. Il a été démontré que la fréquence cardiaque sous-estime l'intensité des exercices anaérobies courts et qui induisent rapidement la fatigue. C'est pour cela que la mesure du lactate sanguin est plus appropriée pour avoir plus de précision lors de ces efforts (Little et Williams, 2007).
L'utilisation de la fréquence cardiaque est un des rares outils qui permet d'avoir des informations physiologiques internes durant un match ou un entraînement

instantanément (Drust *et al.*, 2007). Lorsqu'on utilise la fréquence cardiaque, il faut prendre en compte l'âge, le niveau et le sexe (Alexiou, 2008; Bangsbo *et al.*, 2006; Stølen *et al.*, 2005). Il est très important de noter que l'utilisation de la fréquence cardiaque de réserve est plus appropriée pour comparer et analyser les données que la fréquence cardiaque maximale (Dellal *et al.*, 2008; Dellal *et al.*, 2010; Dellal *et al.*, 2012).

L'utilisation de la fréquence cardiaque ne s'arrête pas ici. D'autres chercheurs ont utilisé la fréquence cardiaque pour déterminer le temps passé au-dessus du seuil anaérobique. Le seuil anaérobique se retrouve entre 80 % et 90% de la fréquence cardiaque maximale (Coelho, 2005).

Les changements de direction influencent la réponse des fréquences cardiaques comparées avec les exercices en ligne droite. La décélération, le changement de direction et l'accélération ont un grand impact sur la fréquence cardiaque (Dellal *et al.*, 2010). Aussi, le type de repos entre les efforts influence les fréquences cardiaques. Il faut prendre en compte le temps de récupération, par exemple une récupération active qui dépasse 30s permet une moindre récupération qu'une récupération passive. Par contre, lorsque le repos est de moins de 10 secondes, le type de récupération importe peu (Dellal *et al.*, 2008).

Enfin, il faut faire attention aux facteurs influenceurs de la fréquence cardiaque, car la mesure de la $VO_2$ peut être sous-estimée ou surestimée selon la fréquence cardiaque qui sera plus élevée ou plus basse (Drust *et al.*, 2007; Hoff *et al.*, 2002). Lors de l'utilisation de cette méthode, il faut s'assurer d'avoir le contrôle sur ces facteurs. De plus, le pourcentage de la fréquence cardiaque maximale n'est pas le meilleur indicateur de performance. Il faut utiliser la fréquence cardiaque de réserve avec la formule de Karvonen qui prend en considération la fréquence au repos et la fréquence maximale (Karvonen *et al.*, 1957). Cette méthode permet une analyse entre individus.

## 2.7 Charte de perception d'effort

Plusieurs études ont souligné l'importance de la charge d'entraînement en rapport avec l'amélioration de la performance et le choix des intensités en fonction des jours d'entraînement.

Au début, les scientifiques ont cherché une méthode qui a les mêmes qualités métriques que les méthodes utilisées en physiologie, par exemple, une méthode efficace et qui a la même distance entre les valeurs de mesures (Foster, 1997). Ces aspects pratiques sont des outils nécessaires pour certains entraîneurs qui planifient des séances détaillées (Fleck, 1999). Par exemple, les coureurs d'endurance utilisent les kilomètres pour quantifier l'entraînement, mais ces mesures ne prennent pas en compte les intensités. C'est pour cette raison que la perception d'effort est une méthode très intéressante à utiliser.

L'échelle de perception d'effort est basée sur le fait que les athlètes peuvent intrinsèquement quantifier le stress imposé à leur corps pendant l'exercice et donc ils peuvent ajuster par eux même l'intensité en utilisant leurs propres perceptions (Robinson *et al.*, 1991). Ce principe a été démontré durant un des exercices à effort stable et à hautes intensités avec des cyclistes, lorsqu'il est corrélé avec la fréquence cardiaque et les changements précis de fréquence cardiaque (Green *et al.*, 2006; Robinson *et al.*, 1991). Par contre, une faible corrélation a été démontrée durant des jeux réduits au soccer et des efforts courts à hautes intensités (Ozkan et Kin-Isler, 2007).

Dans le but de simplifier la quantification de la charge d'entraînement, Foster et al.ont introduit l'utilisation du « rate of perceived exertion »(RPE) en 1996 à la place de l'utilisation de la fréquence cardiaque ou les autres méthodes de quantification (Foster *et al.*, 1996). Cette méthode est en corrélation avec la fréquence cardiaque ainsi que les marqueurs de lactate sanguin (Foster *et al.*, 1995). Le score RPE est une perception de la difficulté totale d'un exercice donné par le sujet 30 minutes après l'exercice. La quantification de la charge de la séance se fait grâce à la multiplication du score donné

à la séance et la durée de la séance. (Foster *et al.*, 1996). Foster et al, en 2001, ont démontré un coefficient de corrélation r entre 0,75 et 0,90 entre la perception d'effort d'une session aérobie et la méthode de quantification « Taining impulse »(TRIMP) de Banister(Foster *et al.*, 2001). Dans le même contexte, Impellizzeri*et al.,* en 2004, ont trouvé un coefficient de corrélation r variant de 0,50 à 0,77 entre les deux méthodes (Impellizzeri *et al.*, 2004). Une autre étude de Borresen et Lambert en 2008 a révélé une corrélation r de 0,76 entre la perception d'effort et la méthode TRIMP et une corrélation de 0,84 entre la perception d'effort et la méthode de l'addition des zones de fréquences cardiaques (Borresen et Lambert, 2008).

L'échelle de Borg est une méthode de quantification de l'intensité d'un exercice physique aérobie ou anaérobie (Borg, 1982). Cette méthode repose sur le sentiment du sujet par rapport à l'effort et la fatigue et elle est utilisée pour tester et réguler les intensités des exercices (Borg, 1990). L'athlète donne un nombre de 6 à 20 représentants des expressions verbales d'effort durant l'exercice (Borg, 1990) (Tableau 2.3). C'est une méthode populaire qui aide à la prescription des exercices avec différentes intensités pour plusieurs populations. De plus, cela ne demande pas une technique complexe ou un budget élevé. La perception d'effort est une mesure interne qui aide à quantifier la charge ou la sévérité d'un exercice et d'une douleur. Cette échelle a été modifiée par Foster et les nombres vont de 1 à 10 (Tableau 2.2).

Tableau 2.1 Échelle modifiée par Foster (Impellizzeri et al., 2004)

| SCORE | DESCRIPTION |
|---|---|
| **0** | Repos |
| **1** | Très, très facile |
| **2** | Facile |
| **3** | Moyen |
| **4** | Un peu difficile |
| **5** | Difficile |
| **6** | - |
| **7** | Très difficile |
| **8** | - |
| **9** | - |
| **10** | Maximum |

Tableau 2.2 Échelle de BORG (Borg, 1990)

| SCORE | DESCPRIPTION |
|---|---|
| **6** | - |
| **7** | Très, très facile |
| **8** | - |
| **9** | Très facile |
| **10** | - |
| **11** | Un peu facile |
| **12** | - |
| **13** | Un peu difficile |
| **14** | - |
| **15** | Difficile |
| **16** | - |
| **17** | Très difficile |
| **18** | - |
| **19** | Très, très difficile |
| **20** | - |

Chaque méthode comporte des inconvénients. Il y a plusieurs facteurs qui influencent la perception de l'effort :

- Taux de concentration des hormones (catécholamines) ;
- Taux de concentration des substrats (glycogène, lactate, etc.) ;
- Personnalité de la personne ;
- Taux de ventilation ;
- Niveau des neurotransmetteurs ;
- Conditions environnementales ;
- État psychique de la personne.

Tous ces facteurs peuvent limiter la précision de cette méthode (Williams JG, 1989). En général, il a été démontré que la précision de cette méthode ne dépend pas de l'intensité et du mode d'entraînement. Elle peut être utilisée pour des exercices à haute intensité comme à basse intensité et pour des exercices aérobies comme pour des exercices de résistance ou de polymétrie (Foster *et al.*, 2001). Par contre, il y a une limitation importante à mentionner lors des exercices résistance. Nous savons que pour calculer la charge d'entraînement d'une séance d'entraînement en résistance, il faut multiplier le nombre de répétitions de tous les exercices par la valeur en RPE de toute la séance (Foster, 1997). Donc, si l'athlète performe plus de répétition avec une résistance légère, il percevra la même ou une moindre charge que lorsqu'il performe moins de répétition avec une charge lourde (Sweet *et al.*, 2004). Sweet*et al.,* en 2004, ont découvert que la perception en exercice de résistance varie selon :

- Muscle ciblé ;
- Masse du muscle ;
- Demande métabolique ;
- Amplitude de mouvement ;
- Nombre d'articulation impliquée ;

- Ordre des exercices ;
- Type de fibre du muscle utilisé ;
- Expérience de la personne en entraînement en résistance ;

## 2.8 La consommation maximale d'oxygène

Les poumons, le cœur, la quantité d'oxygène transporté par le sang et la capacité des tissus musculaires à utiliser l'oxygène fourni sont impliqués dans la capacité aérobie. La consommation d'oxygène se compose de deux parties, centrale et périphérique. La composante centrale dépend de la capacité du cœur à pomper le sang. La composante périphérique dépend de la capacité des muscles squelettiques à utiliser cet oxygène fourni. La performance aérobie est influencée par la puissance aérobie et la capacité aérobie. La puissance aérobie se manifeste dans la consommation maximale d'oxygène ou $VO_2$max. La consommation maximale d'oxygène représente le plus grand volume d'oxygène qu'un individu peut utiliser et elle est déterminée par une analyse de l'échange gazeux durant un test progressif en laboratoire. La capacité aérobie se réfère à la capacité de maintenir le plus longtemps possible une intensité sous-maximale ou maximale de la $VO_{2max}$. La $VO_2$max est considérée comme une variable dépendante primaire lors des études qui évaluent l'effet d'un entraînement comme le cas de l'évaluation des jeux réduits (Saltin, 1969). C'est la plus grande quantité d'oxygène qui peut être utilisée par le corps en une minute. Elle est liée à la capacité aérobie. Cette dernière est corrélée avec le succès général des équipes en termes de classement de fin de saison, avec la distance parcourue par les joueurs et avec le nombre de sprints exécutés par l'équipe (Castagna *et al.*, 2006; Chamari *et al.*, 2005; Hoff, 2005; McMillan *et al.*, 2005).

Dans une étude sur le soccer, Helgerud*et al.,* ont démontré qu'une amélioration au niveau de la $VO_2$max induit une amélioration de la distance parcourue des joueurs de soccer de 20%, une amélioration de l'économie de course, une augmentation du seuil

lactique de 47.8 mL/kg/min à 55.4 mL/kg/min et une amélioration du nombre de sprints effectués dans un match de 100% (Helgerud *et al.*, 2001).

Le test de la capacité maximale de consommation d'oxygène se fait dans un laboratoire à l'aide d'un protocole qui consiste à augmenter l'intensité graduellement jusqu'à l'épuisement volontaire de l'individu tout en effectuant une analyse des gaz expirés à l'aide d'un analyseur métabolique (calorimétrie indirecte). Durant l'été 1967, plusieurs chercheurs du monde entier se sont rencontrés à Toronto, Ontario, Canada et ils ont comparé plusieurs tests de la consommation maximale sur tapis roulant, sur ergocycle et sur des marches. Il a été démontré que le test sur tapis roulant est le plus intéressant et ils ont recommandé l'utilisation de ce test dans les laboratoires (Shephard *et al.*, 1968). Depuis, plusieurs autres recherches ont appuyé cet argument et le test sur tapis roulant est devenu la référence (Mays, 2010). Durant ce test, le volume de gaz respiré est analysé, le volume d'air est enregistré et l'utilisation d'$O_2$ et de $CO_2$ est calculée. La consommation maximale d'oxygène est la valeur maximale de consommation d'$O_2$ atteintedurant un exercice. Elle est toujours extrapolée sur une minute. Par exemple, au repos, la consommation d'oxygène est aux alentours de 0.3 l/min. À l'effort, la $VO_2$ varie entre 2 et 7 l/min. Plus la masse musculaire est grande chez l'individu, plus sa consommation d'oxygène est grande. D'où vient l'intérêt d'utiliser des tests qui impliquent une activation d'une masse musculaire plus grande (Mays, 2010; Moyna, 2001). Pour comparer les individus, il faut diviser la $VO_2$ par le poids de la personne. Par exemple, deux individus qui pèsent 80kg et 60kg et qui ont la même valeur absolue de consommation d'oxygène de 4 l/min auront des valeurs relatives de 50 et 67 ml/min/kg. Durant un exercice, la consommation d'oxygène est plus élevée qu'au repos et elle augmente en parallèle avec l'augmentation de l'intensité de l'exercice jusqu'à l'arrivée à un plateau.

Dans un test physique, il y a plusieurs critères à respecter pour indiquer que la consommation maximale a été atteinte (Hill *et al.*, 1924) dont :

- un plateau de la consommation maximale d'oxygène malgré l'augmentation de l'intensité (Hill *et al.*, 1924) ;

En 1920, les chercheurs Liljestrand et Stenstorm ont observé un plateau au niveau de la consommation d'$O_2$ chez un sujet lors d'un effort de course avec une augmentation graduelle. Les auteurs, Hill et Lupton en 1923, ont observé le même phénomène propose que la raison pour laquelle la consommation d'oxygène ne dépasse pas une certaine valeur (Plateau) est causée par une limitation imposée par le système respiratoire et circulatoire. D'autres recherches plus récentes ont été mentionnées que ce plateau n'a rien à avoir avec le système respiratoire et que le plateau est le produit du volume cardiaque maximale et différence artéroveineuse d'oxygène systémique (Blomqvist *et al.*, 1968; Mitchell et Sproule, 1957).

- la concentration de lactate :

La concentration de lactate sanguin est un bon indicateur d'effort maximal. Une valeur élevée de lactate sanguin est associée avec un recrutement des fibres rapides, l'augmentation rapide de l'épinéphrine(Kjaer, 1989) ainsi que la diminution de la circulation du sang dans le foie (Sale, 1987). Astrand a utilisé la relation entre le taux de lactate sanguin et le plateau de consommation d'oxygène pour établir le critère de la $VO_2max$. Il a trouvé dans son étude que les personnes qui ont atteint un plateau de consommation maximale ont eu un taux de lactate entre 6.7 et 10.1(Åstrand, 1952). En général, le seuil moyen auquel on remarque un début de plateau est de 8mmol $l^{-1}$.

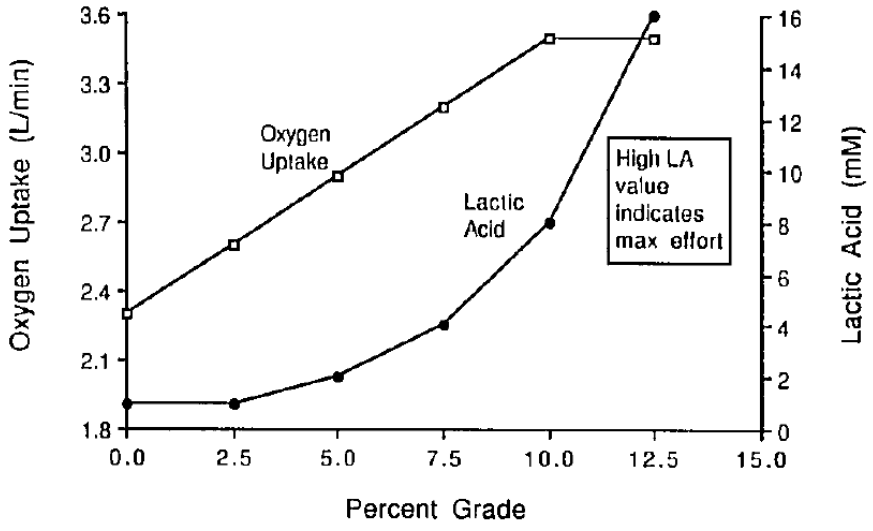


Figure 2.11 Exemple de la trajectoire du lactate sanguin qui arrive à un plateau suite à l'augmentation de l'intensité (Howley *et al.*, 1995)

- le ratio d'échange respiratoire qui est égal ou plus élevé à 1,15 :

Un ratio qui dépasse 1 signifie qu'il y a plus de dioxyde de carbone expiré que d'oxygène inspiré. Un ratio élevé est un signe de possiblement l'atteinte d'un plateau au niveau de la consommation d'oxygène. Ceci est le résultat de la réaction entre l'augmentation des nombres d'ions d'hydrogène $H^+$ dans le sang et le bicarbonate $HCO_3^-$ dans le sang. Suite à cette réaction, du $CO_2$ est généré, la ventilation augmente et le ratio d'échange respiratoire s'élève (Howley *et al.*, 1995).

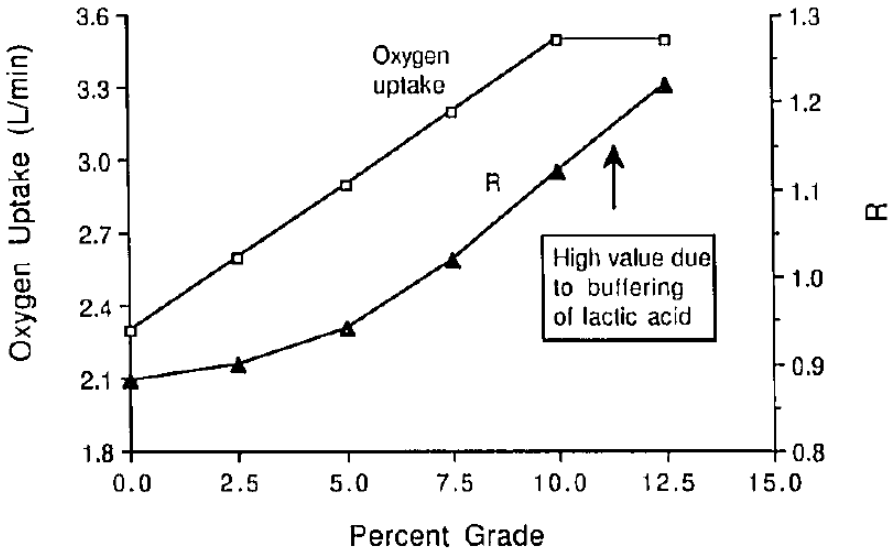


Figure 2.12 Exemple de la trajectoire du quotient respiratoire qui arrive à un plateau suite à l'augmentation de l'intensité (Howley *et al.*, 1995)

- Une perception d'effort de 19 ou 20 sur l'échelle de Borg de 6 à 20 :

Un test de course sur tapis roulant est le plus approprié pour le basketball. L'avantage du tapis roulant, c'est le contrôle de la vitesse et de l'inclinaison avec précision grâce au moteur qu'y est inclus. Il est courant d'observer chez les joueurs de sports d'équipes des valeurs de consommation d'oxygène qui dépassent 60.ml.kg$^{-1}$.min$^{-1}$. De plus, on retrouve une différence notable au niveau de la forme aérobie entre les athlètes amateurs et professionnels (Gabbett, 2000).

La transformation de l'énergie chimique contenue dans les macronutriments en énergie utilisable par le corps humain comme l'ATP nécessite la consommation d'oxygène et la production du dioxyde de carbone en d'autres termes, l'oxydation des glucides ou des lipides nécessitent une consommation d'oxygène.

Dépendamment de l'intensité de l'exercice, un substrat sera privilégié à un autre. La contribution d'un substrat énergétique en comparaison avec un autre peut se remarquer lorsqu'on regarde le quotient respiratoire. C'est le ratio entre le volume de dioxyde de

carbone produit par le métabolisme et l'oxygène consommé par le métabolisme. Ce volume est déterminé en comparant le volume d'air expiré et celui inspiré. Plus le quotient respiratoire se rapproche de 1, plus les glucides sont privilégiés. Plus le quotient respiratoire se rapproche de 0.7, plus les lipides sont privilégiés. La ventilation est ce qui permet d'avoir un équilibre dans l'alvéole entre le $CO_2$ et la rentrée de l'$O_2$. La ventilation est améliorée avec l'entraînement en endurance tout comme la consommation maximale d'oxygène.

## 2.9 Sprints répétés

La capacité à répéter des sprints repose sur plusieurs variables :

- La condition aérobie (Hamilton *et al.*, 1991; McMahon et Wenger, 1998)
- La capacité à éliminer les ions $H^+$ du cytosol (Bishop *et al.*, 2004)
- La durée de récupération (Balsom *et al.*, 1992)
- La durée du sprint (Balsom *et al.*, 1992)
- Les réserves de glycogène musculaire (Balsom *et al.*, 1999)

### 2.9.1 Phosphocréatine et sprints répétés

La quantité de PCr dans les cellules ne peut pas fournir tout l'ATP nécessaire durant un exercice de sprint répété et diminue rapidement après quelques secondes. Dans un sprint maximal de 6 secondes, ce système fourni à peu près 50% de toute l'énergie totale et ses réserves se vide de 45-65% de leurs capacités totales (Gaitanos *et al.*, 1993). Avec une durée plus longue, Gaitanos et al., en 1993, ont révélé qu'après deux sprints de 30 secondes chacun séparé par une pause de 228 secondes de récupération, la quantité de PCr intracellulaire diminuait de 83.1% suite au premier sprint et de 84.6% suite au deuxième sprint. Le système phosphocréatine est très efficace, malgré que la

quantité d'énergie qu'il produit diminue, il continue de fournir le même pourcentage d'énergie de toute l'énergie totale (Neville *et al.*, 1997; Yoshida, 2002). Après 10 sprints de 6 secondes, la contribution du système phosphocréatine peut augmenter dans certains cas comme l'a rapporté Gaitanos et al. en 1993. Ils ont mentionné qu'au premier sprint la contribution était de 49% et lors du dixième sprint, elle était de 80% du total d'ATP utilisé.

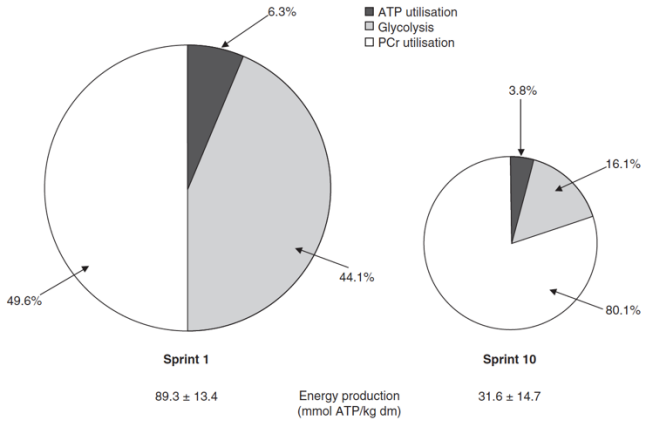


Figure 2.13 La production de l'ATP à partir du métabolisme anaérobie lors du premier et du dernier sprint sur ergocycle(Gaitanos *et al.*, 1993)

Il y a deux phases de restauration des réserves de PCr :

- Phase lente : est affectée par la diminution du pH en lien avec l'augmentation du $H^+$ intramusculaire (Harris *et al.*, 1976; McCann *et al.*, 1995; Sahlin *et al.*, 1979). Ce processus rend le milieu intracellulaire plus acide et affecte le fonctionnement de l'enzyme creatine kinase (Sahlin *et al.*, 1975). Cette façon de récupération prend minimum 170 secondes (Harris *et al.*, 1976).
- Phase rapide : est affecté par l'oxygène disponible (Sahlin *et al.*, 1979). Il a été démontré grâce à une occlusion vasculaire pendant toute la période de récupération de 6 minutes que la resynthèse de PCr était presque nulle. Néanmoins, la récupération par système oxydatif prend près de 21 secondes (Harris *et al.*, 1976). Donc, relativement rapide lorsque comparé à la

condition d'acidose intracellulaire de la fibre musculaire est élevé. De plus, une analyse détaillée de la cinétique de récupération des PCr en hyperoxie et en hypoxie a démontré que ce système dépend principalement du métabolisme aérobie. Il est sensible à la disponibilité de l'oxygène comme le démontre la Figure 2.14.

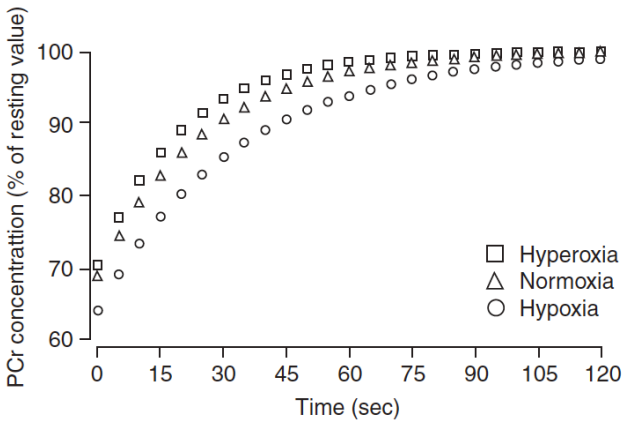


Figure 2.14 L'influence de la disponibilité de l'oxygène sur la cinétique de resynthèse des phosphocréatines à la suite d'un effort sous-maximale de 5 minutes(Haseler *et al.*, 1999)

### 2.9.2 Système glycolytique et sprints répétés

Durant un exercice de sprint répété, le glycogène est dégradé à l'aide d'une enzyme appelée glycogène phosphorylase. Cette dernière est activée de deux façons (Brooks, G.A. *et al.*, 2005):

- Grâce aux hormones : Cette façon est considérée lente pour être efficace lors d'un exercice d'intensité maximale

- Grâce aux contractions musculaires : Ce mécanisme est considéré rapide et efficace pour les sprints répétés.

Il a été démontré que la contraction musculaire est liée au flux de la glycolyse. Le calcium ainsi que les métabolites générés par la contraction musculaire comme le $P_i$ (Phosphate inorganique) et AMP (adenosinemonophosphate) sont nécessaires dans le processus de la glycolyse (Crowther *et al.*, 2002). Encore plus, lorsque des chercheurs ont directement injecté de l'épinéphrine dans le muscle, le flux de la glycolyse n'a pas augmenté d'une façon significative. Ceci appuie l'idée de l'importance de la contraction musculaire (Brooks, G.A. *et al.*, 2005; Crowther *et al.*, 2002). En 1993, Gaitanos et al. ont trouvé, suite à un protocole de 10 sprints de 6 secondes chacun, que la contribution du système glycolytique était de 44.1% lors du premier sprint et de 16.1% lors du dixième sprint. En mesurant la quantité de glycogène intramusculaire avant et après les 10 épreuves de sprint, ils ont trouvé que le glycogène intramusculaire n'avait baissé que de 37%. Ceci démontre que le facteur limitant la glycolyse ne semble pas être la quantité de glycogène intramusculaire.

La resynthèse des réserves de glycogènes intramusculaire est plus lente que le système PCr et dure approximativement neuf minutes (Glaister, 2005). La dégradation du glycogène intramusculaire produit des déchets métaboliques comme les ions de $H^+$ qui à leur tour provoque une baisse du pH qui à son tour inhibe l'activité des enzymes importantes dans la glycolyse (Parolin *et al.*, 1999). Plusieurs chercheurs ont souligné l'importance du métabolisme aérobie qui peut accélérer la récupération en diminuant l'effet négatif du $H^+$ sur les enzymes mentionnées plus haut (Brooks, G.A. *et al.*, 2005; Crowther *et al.*, 2002).

### 2.9.3 Métabolisme aérobie et sprints répétés

Durant un sprint maximal de 6 secondes, la contribution du métabolisme aérobie était de 3-8% (Spencer *et al.*, 2005). Toutefois, lorsque la durée du sprint augmente, ce métabolisme est sollicité davantage comme le démontre la figure 2.15.

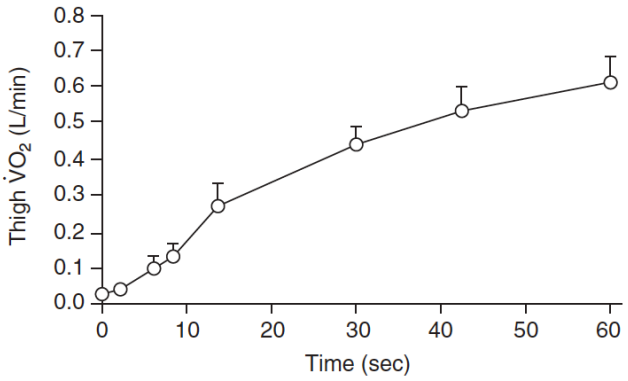


Figure 2.15 Consommation d'oxygène par le muscle de la cuisse durant la première minute d'un exercice d'une intensité de 120% de la VO2 (Bangsbo *et al.*, 2000)

Il a aussi été démontré que durant un sprint de 30 secondes, à l'aide d'un test de Wingate sur vélo stationnaire, que le système oxydatif contribue de 16-18.5% de l'énergie totale requise (Kavanagh et Jacobs, 1988). Dans un protocole similaire, Bogdanis et al (1996b) ont trouvé que lors du premier sprint la contribution était de 29%, 4 minutes plus tard et lors du deuxième sprint, la contribution du système oxydatif était de 44%. Plusieurs recherches se sont penchées sur la contribution du métabolisme aérobie lors des sprints répétés et ils ont mentionné que plus le nombre de sprints répétés augmente, plus la contribution du système oxydatif augmente à chaque sprint (Bogdanis, G. C. *et al.*, 1996b; Gaitanos *et al.*, 1993; Parolin *et al.*, 1999; Trump *et al.*, 1996). Aussi, si la période de récupération n'a pas été suffisante pour permettre à la cinétique de la consommation d'oxygène de revenir au niveau de repos, alors la consommation d'oxygène lors des sprints suivants sera encore plus grande (Figure2.16).

Comme sur la figure ci-dessous, on remarque une augmentation ainsi qu'une accélération de la consommation d'$O_2$ à chaque début de sprint (Figure 2.17).

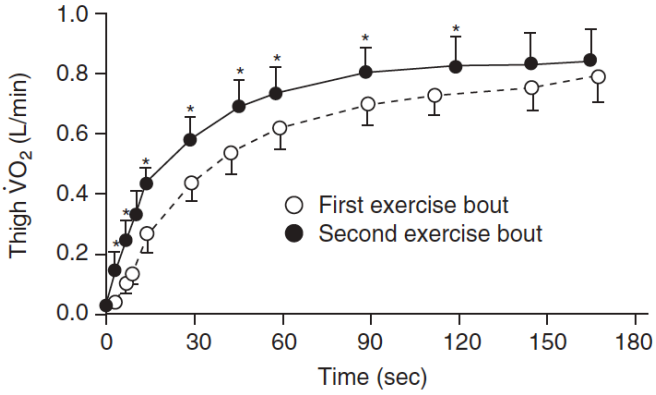


Figure 2.16 Consommation d'oxygène du muscle de la cuisse lors de 2 exercices de 3 minutes chacun à 120% VO2max entrecoupée par 6 minutes de repos passif (Glaister, 2005)

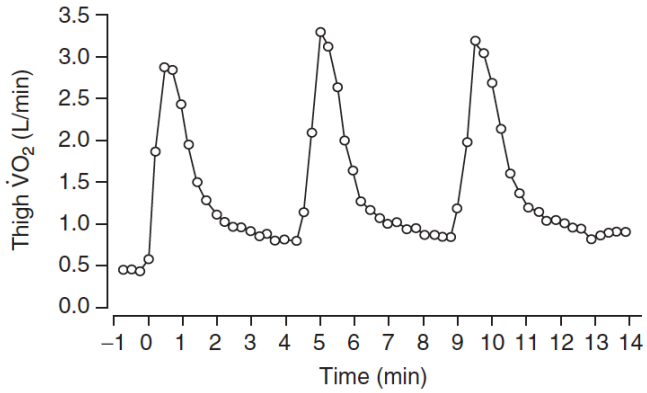


Figure 2.17 Consommation d'oxygène durant 3 sprints de 30 secondes sur ergocycle séparé par 4 minutes de récupération (Putman *et al.*, 1995)

En début d'exercice maximal, il y a un déficit d'oxygène. Le métabolisme aérobie ne démarre pas rapidement pour subvenir aux besoins de cet effort. Si la consommation d'$O_2$ en début d'exercice est ajustée rapidement, cela amène une grande contribution

de la phosphorylation oxydative et une moindre dette d'$O_2$ (Tomlin et Wenger, 2001). L'oxygène emmagasiné dans les myoglobines est utilisé par les cellules musculaires pour la resynthèse d'ATP nécessaire et pour combler le déficit d'oxygène atteint en début d'exercice (Glaister, 2005). La consommation d'oxygène s'élève dans le but de reconstituer les réserves d'oxygène sur les myoglobines, régénérer les réserves de phosphocréatine, transformer le lactate accumulé en glycogène ou $CO_2$ et l'élimination des déchets métaboliques comme le phosphate inorganique (Bangsbo et Hellsten, 1998; Gaesser et Brooks, 1984). Les myoglobines contiennent environ 2 mmol $O_2$/Kg de muscle sec (Akeson *et al.*, 1968). Cette réserve est épuisée rapidement en début d'exercice en réponse à une baisse d'oxygène intracellulaire. Lors d'un travail intense, 50% de la réserve des myoglobines est épuisée en 20 secondes (Mole *et al.*, 1999; Richardson *et al.*, 1995). Ceci nous démontre qu'il y a suffisamment d'oxygène dans la cellule musculaire pour maintenir le travail du système oxydatif durant un exercice maximal de courte durée, toutefois, si l'activité se prolonge, alors le système oxydatif prend la relève.

En 1991, Hamilton et al. ont mentionné que les athlètes d'endurance consomment plus d'$O_2$ lors des sprints répétés et perdent moins de puissance à chaque sprint que les athlètes qui pratiquent uniquement un sport qui contient plusieurs sprints répétés (Hamilton *et al.*, 1991). Une grande consommation d'$O_2$ lors d'effort répétitif signifie que le métabolisme anaérobie est moins sollicité et que la puissance fournie pourrait être constante (Tomlin et Wenger, 2001). En d'autres mots, une plus grande capacité oxydative amène une meilleure contribution du système oxydatif lors d'exercice maximal et réduit la dépendance sur les systèmes PCr et glycolytique. Cela n'est pas tout, cette augmentation réduit les métabolites accumulés durant l'effort et donc réduit la quantité qui doit être éliminée avant le début d'exercice suivant (Dupont *et al.*, 2005).

# CHAPITRE III

# MÉTHODOLOGIE

Dans ce chapitre, je présente les étapes de la méthodologie que j'ai utilisée pour la méta-analyse. Pour rappel, la méta-analyse est une méthode scientifique, valide et objective qui permet de combiner et d'analyser les résultats recueillis à partir de plusieurs articles scientifiques.

## 3.1 Stratégies de recherche

Tous les articles collectés ont traité la relation entre la $VO_2max$ et les sprints répétés. Ils étaient publiés avant le mois de novembre 2019.

### 3.1.1 Recherche automatique

Un processus de sélection d'articles conforme au respect des critères d'une revue systématique nous a permis d'effectuer une méta-analyse qui repose sur les données présentes dans la littérature scientifique. Grâce à cette démarche, des articles pertinents ont été obtenus.Le processus est présenté dans un organigramme de sélection basé sur le modèle PRISMA. Ce modèle a permis de respecter les critères d'une revue systématique (Figure 4.1).

Les bases de données consultées sont les 4 bases de données (BD) incontournables en sciences de l'activité physique auxquelles on a accès à partir du site de la bibliothèque

de l'UQAM. On a utilisé plusieurs mots clés afin de rassembler un grand nombre d'articles qui couvrent en entier ou en partie la relation du basketball et le métabolisme aérobie. Les mots clés sont présentés plus loin.
Les bases de données utilisées sont ProQest, PubMed, Scopus et SportDiscuss ont fait l'issu de notre recherche systématique et 8 mots clés ont été utilisés afin de faire ressortir les articles désirés. Ces mots clés ont été utilisés dans les 4 BD avec la même stratégie. La qualité de ces mots clés a été validée par le bibliothécaire Jean-Jacques Rondo, PhD. Ce dernier a aidé vérifier la qualité des mots et de la stratégie de recherche d'article.

Les mots clés retenus pour notre recherche sont :

BASKETBALL; AEROBIC; ANAEROBIC; HIGH INTENSITY; "REPEATED SPRINT*"; INTERMITTENT; PHYSIOLOGY; "MULTIPLE SPRINT*".

La recherche dans PubMed a été faite de la façon suivante :

BASKETBALL[Title/Abstract] AND (AEROBIC[Title/Abstract] OR ANAEROBIC[Title/Abstract] OR HIGH INTENSITY[Title/Abstract] OR "REPEATED SPRINT*"[Title/Abstract] OR INTERMITTENT[Title/Abstract] OR PHYSIOLOGY[Title/Abstract] OR "MULTIPLE SPRINT*"[Title/Abstract])
Dans les autres bases de données, la recherche a été faite avec les mêmes mots clés dans les titres et les résumés.

### 3.1.2 Recherche Manuelle

Des articles ont été extraits manuellement à partir d'une recherche effectuée auprès des listes de référence de tous les articles retenus lors de la filtration par texte.

## 3.2 Critères d'inclusion et d'exclusion

### 3.2.1 Duplicata

En utilisant EndNote X9, toutes les références ont été classées par ordre alphabétique par les noms d'auteurs et à chaque fois que deux articles ou plus avaient les mêmes noms d'auteurs, le même titre et la même année, le ou les articles en doublure étaient éliminés.

### 3.2.2 Titre et résumé

En lisant les titres, si les études ne contenaient pas de mesure directe ou indirecte de la VO2 max et un protocole de sprints répétés effectués auprès de joueurs de basketball âgés de 16 ans et plus, les articles étaient exclus.
Si l'identification de ces critères était difficile, l'article était conservé pour l'étape suivante.

### 3.2.3 Texte

À la lecture des articles, si les critères suivants étaient présents, l'article était retenu et rejeter si absents :

- Le texte rédigé en anglais ou en français.
- Contiens des données ou des corrélations provenant d'un groupe de même sexe (homme/femme) et de même niveau (collégiale, universitaire, junior ou senior)
- Les sujets du groupe étaient des joueurs de basketball élite (collégiale, universitaire, Junio ou senior) âgés de 16 et plus.
- L'étude discute la relation entre le métabolisme aérobie et les sprints répétés.

- Si l'étude n'a pas été faite sur des joueurs élites âgés de 16 et plus, l'article est exclu.

### 3.2.4 Critère spécifique à la méta-analyse

Les données recueillies auprès d'athlètes lors d'un protocole de sprints répétés ou d'un test de consommation d'oxygène devaient être présentées sous forme de moyennes. Les moyennes retenues devaient obligatoirement être accompagnées d'un écart type. Si les données étaient recueillies deux fois, avant et après intervention, les deux collectes étaient retenues.
Les articles devaient présenter des corrélations mettant en relation un facteur physiologique ($VO_2$ max) provenant d'un groupe homogène et une mesure de performance, sprints répétés, du même groupe.

## 3.3 Extraction et classification de données

### 3.3.1 Extraction et classification de données pour la méta-analyse

Les données extraites des différentes études ont été classées en créant un chiffrier à l'aide du logiciel Excel (Microsoft Crop., USA) selon les caractéristiques de l'étude (Année de publication, auteur et pays), les caractéristiques des sujets (nombre, sexe et niveau), les résultats de la $VO_2$ max, le protocole de sprints répétés utilisés, l'indice de fatigue (IF), le coefficient de corrélation, la valeur-p ainsi que le test de corrélation utilisé (Pearson).

Tableau 3.1 Classification des données de la méta-analyse

| Année | Auteur | Pays | Sexe | niveau | nb de joueur | Âge | Protocols | Temps de repos | Moment Vo2 max | Vo2 max | Mesure | Indice de fatigue | r | p | z | SE | Type de corrélation |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2019 | GANTOIS | BRÉSIL | H | COLL | 17 | 21.2±2.3 | 6 x 30m | 20 sec | AVANT | 50.25±4.62 | Directe | 2.99±1.70 | -0.315 | 0.218 | -0.33 | 0.27 | ? |
| 2018 | GANTOIS | BRÉSIL | H | COLL | 12 | 21.5±2.73 | 6 X 30m | 20 sec | AVANT | 48.5 | Directe | 7.64±5.76 | -0.164 | 0.63 | -0.17 | 0.33 | Coefficient de corrélation Pearson |
| 2018 | GANTOIS | BRÉSIL | H | COLL | 12 | 21.5±2.73 | 6 X 30m | 20 sec | AVANT | 53 | | 3.27±1.72 | -0.36 | 0.277 | -0.38 | 0.33 | |
| 2017 | ZAGATTO | BRÉSIL | H | ELI | 20 | 17±1 | 10 X 30m (2COD) | 30 sec | PENDANT | 37.0±2.9 | Directe | 4.2±1.8 | ? | ? | ? | 0.24 | ? |
| 2017 | ZAGATTO | BRÉSIL | H | ELI | 20 | 17±1 | 10 x 30m (5COD) | 30 sec | PENDANT | 36.1±3.2 | | 3.0±1.1 | ? | ? | ? | 0.24 | ? |
| 2017 | GANTOIS | BRÉSIL | H | COLL | 20 | 18-24 | 6 X 30m | 20 sec | AVANT | 49.19±0.24 | Directe | 5.27±2.91 | -0.396 | <0.05 | -0.42 | 0.24 | Coefficient de corrélation Pearson |
| 2015 | GHARBI | TUNISIE | H | UNIV | 5 | 23.4±2.3 | 10 X 30m (2COD) | 30 sec | AVANT | 54.16±3.5 | Indirecte | 3.51 | -0.57 | <0.05 | -0.65 | 0.71 | Coefficient de corrélation Pearson |
| 2012 | MACKOVIC | BOSNIA | H | PROS | 55 | P= 19.12±3.44 | 6 X 35m | 10 sec | AVANT | 64.36±7.05 | Indirecte | 8.08±1.08 | -0.34 | 0.02 | -0.35 | 0.14 | ? |
| 2009 | MECKEL | ISRAEL | H | PROS | 12 | 17±0.5 | 12 X 20m | 20 sec | AVANT | 57.0±5.1 | Indirecte | Avant: 5.0±0.5<br>Mi-temps: 5.0±0.6<br>Après: 5.1±0.2 | No<br>-0.58<br>-0.59 | No<br><0.05<br><0.05 | #VALUE! | 0.33 | Coefficient de corrélation Pearson |
| 2008 | CASTAGNA | ITALY | H | JUN | 16 | 16.8±1.2 | 10 X 30m (2COD) | A= 30 sec | AVANT | 59.5±7.9 | Directe | A= 3.39±2.3<br>P= 5.05±2.4 | 0.12 | >0.05 | 0.12 | 0.28 | Coefficient de corrélation Pearson |
| 2007 | CASTAGNA | ITALY | H | JUN | 18 | 16.8±1.2 | 10 X 30m (2COD) | 30 sec | AVANT | 59.6±6.9 | Directe | 3.4±2.3 | 0.26 | -0.28 | 0.27 | 0.26 | Coefficient de corrélation Pearson |

## 3.4 Quantification et analyse

### 3.4.1 Méta-analyse

L'objectif de la démarche statistique était de faire ressortir les corrélations mesurées entre le paramètre physiologique ($VO_2$ max) et la performance au basketball (habilité à répéter des sprints). Cet objectif a permis de classifier dans des tableaux de méta-analyse la variable dépendante (habilité à répéter des sprints) et la variable indépendante ($VO_2$ max) de chaque article afin d'analyser à l'aide du logiciel JASP (ver. 0.11.1) l'ensemble de la relation entre ces deux variables et de présenter sous forme de Tableau et de graphique (Forest Plot) les résultats de la méta-analyse.
Donc, l'ensemble des articles retenus pour la méta-analyse ont utilisé la méthode de coefficient corrélation Pearson, afin d'évaluer la relation entre la $VO_2$ max et la performance lors des sprints répétés, c'est ce qui a permis la méta-analyse.

Pour le calcul de la méta-analyse, comme taille d'effet, nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Pearson (r). Aussi, selon Borenstein (2009), nous avons converti la

corrélation (r) en distribution Fisher Z afin d'effectuer les analyses statistiques. La formule suivante a été utilisée :

$$z = 0.5 \times \ln\left(\frac{1+r}{1-r}\right)$$

Figure 3.1 Fisher Z = z; Corrélation = r (Borenstein *et al.*, 2009)

De plus, l'écart type est égal à la racine carrée de la variance ($V_z$) et afin de l'obtenir nous avons utilisé la formule suivante :

$$V_z = \frac{1}{n-3}$$

$$SE_z = \sqrt{V_z}$$

Figure 3.2 Variance = $V_z$,; Écart-type = $SE_z$(Borenstein *et al.*, 2009)

Ensuite, le résultat et son intervalle de confiance (*summaryFisher's Z*) ont été reconvertis à nouveau pour obtenir le facteur de corrélation global (*summarycorrelation*) selon la démarche présentée dans la Figure 3.3.

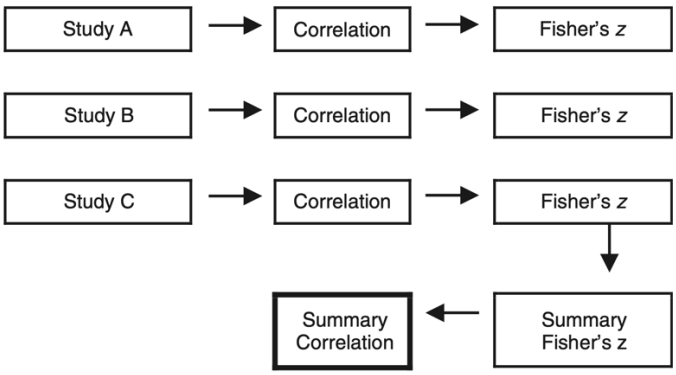


Figure 3.3 Shémas de l'analyse des corrélations suivant la méthode Fisher z (Borenstein *et al.*, 2009)

Le seuil de signification a été fixé à $p < 0.05$. L'hétérogénéité entre les études a été évaluée à l'aide de l'index $I^2$. Par convention, une hétérogénéité inférieure à 25% est considérée faible, une hétérogénéité entre 25 et 50% est considérée moyenne et une hétérogénéité supérieure à 75% est considérée forte (Higgins *et al.*, 2003). Étant donné que notre base de données était entrée faible et moyenne, mais proche de faible (28%), nous avons effectué l'agrégation des études à l'aide d'un modèle à effet fixe. De plus, les intervalles de confiance de l'effet observé dans les différentes études se chevauchent assez bien ce qui valide l'utilisation d'un modèle à effet fixe.

# CHAPITRE IV

# RÉSULTATS DE LA MÉTA-ANALYSE

## 4.1 Résultats de la revue systématique

Après la lecture des 193 articles retenus lors de l'étape d'analyse des titres et des résumés, 9 articles ont été retenus pour notre méta-analyse. Nous avons aussi retenu 31 articles qui soulignent la relation entre la capacité aérobie et le basketball dans une partie de leurs textes, mais seulement un article a été rajouté manuellement. Les résultats de toutes les étapes de la revue systématique effectuée pour la méta-analyse sont présentés en détail dans la figure 4.1.

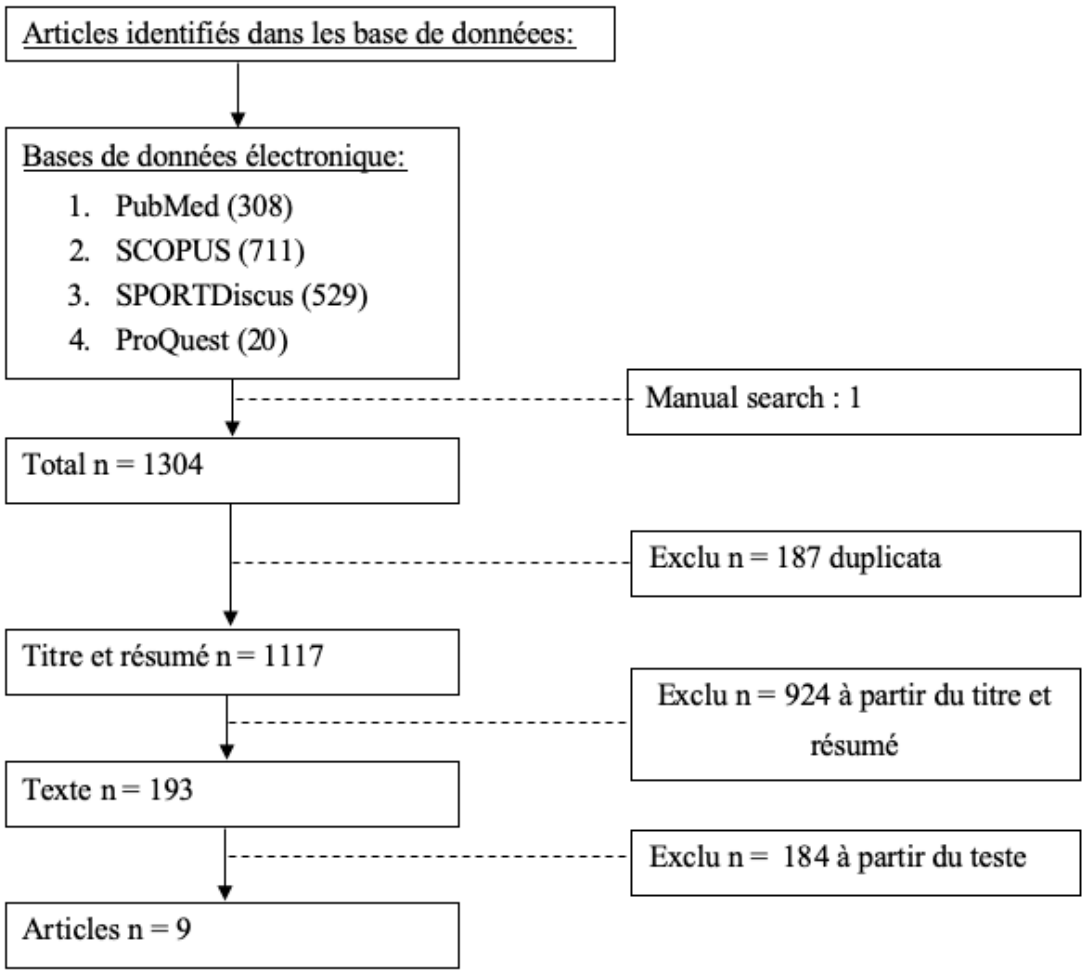


Figure 4.1 Diagramme flow du précédé de sélection des publications pour la revue

## 4.2 Résultat de la méta-analyse

Suite à la revue systématique, nous avons inscrit dans un tableau le facteur de performance principal (habilité à répéter des sprints) ayant une corrélation avec le métabolisme aérobie, représenté par la $VO_2$ max. L'habilité à répéter des sprints était représentée dans les articles retenus pour la méta-analyse par l'indice de fatigue (IF).

Tableau 4.1 Corrélation entre les sprints répétés et la VO2 max dans articles retenus

| Année | Auteur | Pays | nb de joueur | r | p | z | SE |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 2019 | GANTOIS(2019) | BRÉSIL | 17 | -0.315 | 0.218 | -0.326 | 0.267 |
| 2018 | GANTOIS(2018) | BRÉSIL | 12 | -0.36 | 0.277 | -0.377 | 0.333 |
| 2017 | GANTOIS(2017) | BRÉSIL | 20 | -0.396 | <0.05 | -0.419 | 0.243 |
| 2015 | GHARBI(2015) | TUNISIE | 5 | -0.57 | <0.05 | -0.648 | 0.707 |
| 2012 | MACKOVIC(2012) | BOSNIA | 55 | -0.34 | 0.02 | -0.354 | 0.139 |
| 2012 | Stojanovic(2012) | Serbia | 24 | -0.26 | >0.05 | -0.266 | 0.218 |
| 2009 | MECKEL(2009) | ISRAEL | 12 | -0.59 | <0.05 | -0.678 | 0.333 |
| 2008 | CASTAGNA2008) | ITALY | 16 | 0.12 | >0.05 | 0.121 | 0.277 |
| 2007 | CASTAGNA(2007) | ITALY | 18 | 0.37 | -0.26 | 0.388 | 0.258 |

Les résultats de la méta-analyse selon un modèle à effet aléatoire effectué de l'incidence de la $VO_2$ max sur la performance lors des sprints répétés (IF) ont démontré une relation significative négative entre les deux variables de R= -0.25 [95% IC : -0.45; 0.04] (p=0.017). Ce qui explique en partie que plus la $VO_2$ max est élevée, plus l'IF lors des sprints répétés sera réduit, c'est-à-dire, une meilleure endurance à conserver une vitesse élevée durant la répétition de sprint, bref, moins de perte de vitesse.

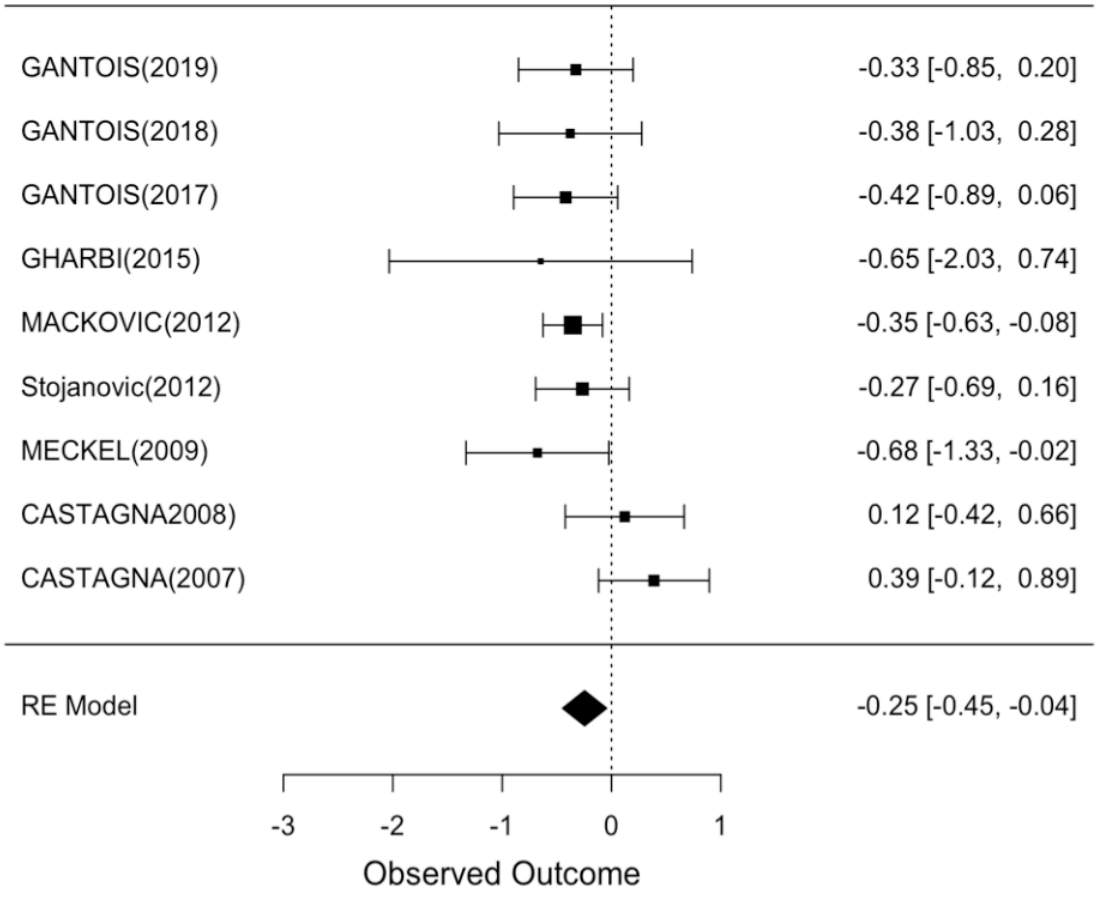


Figure 4.2 Taille de l'effet de la VO2 max sur les sprints répétés

# CHAPITRE V

# DISCUSSION

## 5.1 Résultat de la recherche

Cette méta-analyse est la première qui calcule la robustesse de la relation entre la performance en basketball représentée par des sprints répétés et le métabolisme aérobie représenté par la $VO_2$ max chez des joueurs de basketball élite. La revue systématique a identifié neuf publications scientifiques ayant étudié le rôle de la $VO_2$ max sur l'habileté à répéter des sprints.Le point probant de la méta-analyse va dans le sens que la $VO_2$ max agit favorablement sur l'habileté à répéter des sprints. Ceci appuie l'hypothèse générale qu'une corrélation existe entre le métabolisme aérobie et les sprints répétés chez les joueurs de basketball au niveau élite.Bref, la $VO_2$ max est inversement proportionnelle avec l'indice de fatigue durant les sprints répétés.

Les résultats de la méta-analyse indiquent que la capacité aérobie présente un poids favorable envers la capacité à répéter des sprints (corrélation négative). Toutefois, à travers les diverses études retenues, la relation entre ces deux variables n'a pas été constante, car deux articles ont démontré une corrélation positive. En fait, lorsqu'on observe les résultats dans notre tableau de méta-analyse (Tableau 4.1), on remarque que les deux études de Castagna et al. (2007 et 2008) ont affiché des corrélations positives et faibles. En fait, les auteurs observent que les joueurs ayant une $VO_2$ max supérieure ou égale à 60.9 $ml.kg^{-1}.min^{-1}$se fatiguent plus que le reste lors des derniers sprints. Les corrélations observées indiquent qu'il n'y a pas de relation significative

entre la $VO_2$ max et aucune des variables mesurées lors des sprints répétés.Les auteurs ont souligné qu'une consommation maximale d'oxygène n'est pas le facteur limitant dans la performance lors des sprints répétés chez les athlètes ayant une $VO_2$ max de plus de 50 $mL.kg^{-1}.m^{-1}$. Toutefois, les résultats de Gharbi et al. (2015) et Meckel et al. (2009) ont démontré une corrélation négative et significative, et ce, malgré les mesures de $VO_2$ max élevées de leurs sujetsde 54.16 et 57 $mL.kg^{-1}.m^{-1}$ respectivement. Les auteurs des 5 autres publications retenues ont aussi démontré une corrélation négative néanmoins faible (r = -0.27 –-0.68) entre les deux variables.Parmi ces 5 articles, Gantois et al (2018), Stojanovic et al. (2012) et Mackovic et al (2012) ont prélevé chez leurs sujets des valeurs de $VO_2$ max élevées de 53, 51.9 et 64 $mL.kg^{-1}.m^{-1}$ respectivement.

Les protocoles utilisés lors des articles retenus ont été différents. Castagna et al. (2007, 2008), Gharbi et al. (2015) et Stojanovic et la. (2012) ont utilisé le même exercice de sprints répétés qui consiste à effectuer 10 sprints de 30 mètres, incluant un changement de direction de 180 degrés à 15 mètres. Cette course de 30 mètres a été suivie par un repos de 30 secondes.Gantois et al. (2017, 2018, 2019) ont utilisé à leurs tours un protocole qui consiste à effectuer 6 sprints linéaires de 30 mètres, suivi de 20 secondes de repos. Seul Macovic et al. (2012) ont utilisé un protocole qui consiste en 6 sprints de 35 mètres linéaires, suivi de 10 secondes de repos entre chaque sprint. Des études ont confirmé que la contribution du métabolisme aérobie, lorsqu'il y a un changement de direction de 180 degrés, comparé à un sprint linéaire, est augmentée significativement. Lors des changements de direction, une plus grande masse musculaire est engagée,les muscles du tronc ainsi que les ischio-jambiers et les muscles de la hanche sont sollicités durant la phase d'accélération et de décélération. Ceci implique une plus grande consommation d'$O^2$.De plus, la désoxygénation des tissus musculaires qui augmente au fil des sprints prouve que la consommation d'oxygène augmente aussi.

Dans un match de basketball, les athlètes changent de mouvement toutes les 2 secondes, effectuent près de 80 arrêts (10-70 secondes). Ils effectuent entre 55-105 actions

intenses incluant près de 70 sprints (3-5 mètres) qui sont effectués à toutes les 21 à 39 secondes (McInnes *et al.*, 1995a; Meckel *et al.*, 2009). Donc, énormément d'efforts musculaires de nature explosive qui contribuent à une augmentation de la consommation d'$O_2$ malgré que le basketball est reconnucomme un sport de type anaérobie.

En fait, Dawson et al. (1996) ont démontré, à l'aide de biopsies musculaires, que la durée des périodes de repos durant match permettrait seulement de restaurer 70% de la réserve de PCr suite à un sprint de 6 secondes. Néanmoins, des sprints de 6 secondes durant un match ne sont pas possibles, car cela représenterait une longueur de 60 mètres à une vitesse de niveau élite international. Cependant, la dégradation des PCr est un facteur limitant durant les exercices de sprints répétés et leursresynthése se fait principalement via le métabolisme aérobie, d'où l'importance de celle-ci dans les sports identifiés anaérobiques (tennis, hockey sur glace, basketball, pour en nommer quelques-uns)(Bogdanis, G. C. *et al.*, 1996a). Donc, la condition aérobie joue un rôle important pour maintenir une bonne performance lors de sprints successifs(Bishop *et al.*, 2004; Bishop *et al.*, 2011). De ce fait, il n'est pas surprenant de noter que la capacité à maintenir une vitesse constante lors des sprints répétés soit significativement corrélée avec la capacité aérobie (Bogdanis, G. C. *et al.*, 1996b; Dawson *et al.*, 1993; McMahon et Wenger, 1998). Toutefois, tous ces protocoles dépassent rarement la durée de 6-7 minutes incluant la période de repos. Cette durée semble être plus courte que la durée d'effort que nous pouvons retrouver dans un match de basketball (McInnes *et al.*, 1995a). Ce qui explique la possibilité que certains athlètes durant ces tests de courte durée soit moins dépendant de la contribution du système aérobie lors de cet exercice de courte durée, c'est-à-dire, une meilleure résistance de la part de ces athlètes à fournir un effort supramaximal. De ce fait, il faut que les protocoles utilisés comme test chez les basketballeursreflètent plus l'effort retrouver dans un match (Hoffman *et al.*, 1999). La relation entre la $VO_2$ max et la répétition des sprints est différente dépendamment du nombre de sprints utilisés. Meckel et al. (2009) ont trouvé que la corrélation est significative seulement pour le modèle de 12 sprints comparé à celui de 6 sprints (r =-

0.60 vs r = -0.32, respectivement). Cette idée est appuyée par Gaitanos et al. (1993) qui ont trouvé que la contribution du système aérobie dans la provision de l'énergie totale a augmenté significativement lors de longues séries de sprints répétés. De plus, elle a été plus importante que la contribution du système glycolytique. Cette dernière a été presque nulle, au dernier sprint de leur test, par contre la contribution du système aérobie dans la resynthèse d'ATP a été plus significative au dernier sprint(Gaitanos *et al.*, 1993). La relation entre les deux variables est influencée par la charge de travail (nombre de sprints) et le niveau de fatigue que les athlètes subissent.

Dans un effort maximal répétitif, l'accumulation des ions $H^+$ inhibe la phosphofructokinase qui à son tour provoque une diminution de la contribution de la glycolyse anaérobique dans la fourniture d'énergie (Gaitanos *et al.*, 1993). Pour compenser cela, le métabolisme aérobie intervient. Premièrement, pour accélérer la récupération entre ces efforts afin de permettre à la PCr de produire plus d'ATP. Deuxièmement, pour éliminer les déchets métabolites accumulés (Haseler *et al.*, 1999; McMahon et Wenger, 1998). Selon Bishop et al. (2004), la capacité tampon serait un facteur important lors des exercices intermittents à haute intensité. Les athlètes qui sont capables de transporter de l'oxygène rapidement lors d'un exercice performent mieux durant les exercices intermittents à hautes intensités (Dupont *et al.*, 2005). Ainsi, cela semble confirmer que la performance durant les sprints répétés est en corrélation significative avec la capacité aérobie (Bogdanis, G. C. *et al.*, 1996b; Dawson *et al.*, 1993).

Pour conclure, on remarque que les protocoles de sprints répétés utilisés chez les athlètes de basketball ne représentent pas la performance de sprints répétés effectuée par un joueur durant un match. Ainsi, pour mieux évaluer la relation entre le basketball et la $VO_2$ max, il est proposé d'utiliser un test avec plus grand nombre de sprints sur une distance plus courte (10-20 mètres). De plus, idéalement, effectuerune mesure de la consommation d'oxygène durant un match (simulé ou réel) afin d'identifier correctement les exigences de ce sport en termes de consommation d'$O_2$.

# CHAPITRE VI

# CONCLUSION

En conclusion, ce mémoire a pour objet d'aider les préparateurs physiques de basketball dans leurs planifications des entraînements de la composante aérobie. Nous avons opté pour une méta-analyse afin de combiner les coefficients de corrélation des études qui ont traité le lien entre le basketball et le métabolisme aérobie. Cela nous a permis aussi d'estimer la taille et la direction de l'effet entre les variables.

Nos résultats ont confirméavec un niveau de confiance modéré (-0,25) notre hypothèse. L'indice de fatigue durant un exercice de sprints répétés est influencé par la capacité aérobie. Plus le nombre de sprints est élevé, plus le métabolisme aérobie est important. En somme, ce mémoire peut être utilisé comme référence par les spécialistes de la préparation physique au basketball. Par contre, des recherches futures avec un protocole qui contient un nombre de sprints de plus de 10 seraient plus appropriées pour évaluer cette aptitude chez les basketteurs. Nous croyons qu'un test de sprints répétés plus spécifique au basketball doit contenirun nombre de sprints plus élevé afin de s'approcher de la réalité d'un match. Toutefois, le contexte actuel de pandémie de la COVID-19 n'a pas permis d'exécuter ce devis expérimental (nonprésenté dans le présent mémoire).

# RÉFÉRENCES


Akeson, A., Biorck, G. et Simon, R. (1968, Apr). On the content of myoglobin in human muscles. Acta Med Scand, 183(4), 307-316

Alexiou, H. a. C., AJ. (2008). A comparison of methods used for quantifying internal training load in women soccer players. Int J Sports Physiol Perform, 320–339

Alizadeh, R. et Hovanloo, F. (2010). The relationship between aerobic power and repeated sprint ability in young soccer players with different levels of vo2 max

Aminian-Far A, H. M., Olyaei G, Talebian S, Bakhtiary A. (2011). Wholebody vibration and the prevention and treatment of delayed-onset muscle soreness. J Athl Perf 46- 43–9

Apostolidis, N., Nassis, G. P., Bolatoglou, T. et Geladas, N. D. (2004). Physiological and technical characteristics of elite young basketball players. Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 44(2), 157-163

Astrand, P. et Rodahl, K. (1970). Textbook of work physiology

Åstrand, P.-O. (1952). Experimental Studies of Physical Working Capacity in Relation to Sex and Age

Baker, J. S., McCormick, M. C. et Robergs, R. A. (2010). Interaction among Skeletal Muscle Metabolic Energy Systems during Intense Exercise. J Nutr Metab, 2010, 905612. doi: 10.1155/2010/905612

Balsom, P. D., Gaitanos, G. C., Söderlund, K. et Ekblom, B. (1999). High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. Acta Physiol Scand, 165-337–345

Balsom, P. D., Seger, J. Y., Sjodin, B. et Ekblom, B. (1992). Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. Int J Sports Med, 13(7), 528-533. doi: 10.1055/s-2007-1021311

Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M. et Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and 02 deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. journal of physiology and pharmacology, 422, pp. 539-559

Bangsbo, J. et Hellsten, Y. (1998, Mar). Muscle blood flow and oxygen uptake in recovery from exercise. Acta Physiol Scand, 162(3), 305-312. doi: 10.1046/j.1365-201X.1998.0331e.x

Bangsbo, J., Krustrup, P. et Gonzalez-Alonso, J. (2000). Muscle oxygen kinetics at onset of intense dynamic exercise in humans. Am J Physiol, 279, R899-906

Bangsbo, J., Mohr, M. et Krustrup, P. (2006, Jul). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. J Sports Sci, 24(7), 665-674. doi: 10.1080/02640410500482529

Ben Abdelkrim, N., Castagna, C., Jabri, I., Battikh, T., El Fazaa, S. et El Ati, J. (2010, Sep). Activity profile and physiological requirements of junior elite basketball players in relation to aerobic-anaerobic fitness. J Strength Cond Res, 24(9), 2330-2342. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e381c1

Ben Abdelkrim, N., El Fazaa, S. et El Ati, J. (2007, Feb). Time-motion analysis and physiological data of elite under-19-year-old basketball players during competition. Br J Sports Med, 41(2), 69-75; discussion 75. doi: 10.1136/bjsm.2006.032318

Bishop, D., Edge, J. et Goodman, C. (2004). Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. . Eur. J. Appl. Physiol, 92:540–547

Bishop, D., Girard, O. et Mendez-Villanueva, A. (2011). Repeated-sprint ability - part II: recommendations for training. Sport Med, 41(9):741–56

Blomqvist, G., Johnson Jr, R. L. et Saltin, B. (1968). Pulmonary Diffusing Capacity Limiting Human Performance at Altitude. Acta Physiologica Scandinavica

Bogdanis, G., Nevill, M. E., Lakomy, H. K. et Boobis, L. H. (1998, Jul). Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. Acta Physiol Scand, 163(3), 261-272. doi: 10.1046/j.1365-201x.1998.00378.x

Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H. et Lakomy, H. K. (1996a, Mar). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply

during repeated sprint exercise. J Appl Physiol (1996), 80(3), 876-884. doi: 10.1152/jappl.1996.80.3.876

Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Lakomy, H. K., Graham, C. M. et Louis, G. (1996b). Effects of active recovery on power output during repeated maximal sprint cycling. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 74(5), 461-469. doi: 10.1007/bf02337727

Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T. et Rothstein, H. R. (2009). Introduction to Meta-Analysis John Wiley & Sons.

Borg, G. (1982). Psychophysical basis of perceived exertion. Med Sci Sports Exerc, 14 (5) 377-81

Borg, G. (1990). Psychophysical scaling with applications in physical work and the perception of exertion. Scandinavian Journal of Work, Environment & Health,, 16, 55-58. doi: 10.5271/sjweh.1815

Borresen, J. et Lambert, M. (2008). Quantifying training load- a comparison of subjective and objective methods. International Journal of Sports Physiology and Performance, 3- 16-30

Brooks, G. A. (2009, Dec 1). Cell-cell and intracellular lactate shuttles. J Physiol, 587(Pt 23), 5591-5600. doi: 10.1113/jphysiol.2009.178350

Brooks, G. A. (2010, Jun). What does glycolysis make and why is it important? J Appl Physiol (1985), 108(6), 1450-1451. doi: 10.1152/japplphysiol.00308.2010

Brooks, G. A., Fahey, T. D. et Baldwin, K. M. (2005). Exercise Physiology: Human Bioenergetics and Its Applications. New York: McGraw-Hill Publishing

Cairns, S. P. (2006). Lactic acid and exercise performance : culprit or friend? Sports Med, 36(4), 279-291. doi: 10.2165/00007256-200636040-00001

Calbet, J. A. L., Chavarren, J. et Dorado, C. (1997). Fractional use of anaerobic capacity during a 30- and a 45-s Wingate test. Eur J Appl Physiol

Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chamari, K., Carlomagno, D. et Rampinini, E. (2006, May). Aerobic fitness and yo-yo continuous and intermittent tests performances in soccer players: a correlation study. J Strength Cond Res, 20(2), 320-325. doi: 10.1519/R-18065.1

Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I. et Wisloff, U. (2005, Jan). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. Br J Sports Med, 39(1), 24-28. doi: 10.1136/bjsm.2003.009985

Cipryan, L. et Gajda, V. (2011, Jun). The influence of aerobic power on repeated anaerobic exercise in junior soccer players. J Hum Kinet, 28, 63-71. doi: 10.2478/v10078-011-0023-z

Coelho, D. (2005). Determination of the activity's intensity of soccer players during official match play according to the heart rate monitoring. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil

Crisafulli, A., Melis, F., Tocco, F., Laconi, P., Lai, C. et Concu, A. (2002, Dec). External mechanical work versus oxidative energy consumption ratio during a basketball field test. J Sports Med Phys Fitness, 42(4), 409-417

Crowther, G. J., Carey, M. F., Kemper, W. F. et Conley, K. E. (2002). Control of glycolysis in contracting skeletal muscle. I. Turning it on. American Journal of Physiology and Endocrinology, 282

Dawson, B., Fitzsimons, M. et Ward, D. (1993). The relationship of repeated sprint ability to aerobic power and performance measures of anaerobic work capacity and power. Aust J Sci Med Sport 25: 88–93

Delextrat, A., Badiella, A., Saavedra, V. et Schelling, X. (2015). Match activity demands of elite Spanish female basketball players by playing position. International Journal of Performance Analysis in Sport

Dellal, A., Chamari, K., Pintus, A., Girard, O., Cotte, T. et Keller, D. (2008, Sep). Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. J Strength Cond Res, 22(5), 1449-1457. doi: 10.1519/JSC.0b013e31817398c6

Dellal, A., Keller, D., Chaouachi, D., Wong, D. P. et Chamari, K. (2010). physiological effects of directional changes in intermittent exercise in soccer players. journal of strength and conditioning research

Dellal, A., Varliette, C., Owen, A., Chirico, E. N. et Pialoux, V. (2012, Oct). Small-sided games versus interval training in amateur soccer players: effects on the aerobic capacity and the ability to perform intermittent exercises with changes of direction. J Strength Cond Res, 26(10), 2712-2720. doi: 10.1519/JSC.0b013e31824294c4

Di Prampero, P. E. ( 1981). Energetics of muscular exercise. . Rev Physiol Biochem Pharmacol, 89, 143-222

Di Prampero, P. E., Capelli, C., Pagliaro, P., Antonutto, G., Girardis, M., Zamparo, P. et Soule, R. G. (1993). Energetics of best performances in middle-distance running. E. J Appl Physiol 74(5), 2318-2324. doi: 10.1152/jappl.1993.74.5.2318

Drust, B., Atkinson, G. et Reilly, T. (2007). Future perspectives in the evaluation of the physiological demands of soccer. Sports Med, 37(9), 783-805

Dupont, G., Millet, G. P., Guinhouya, C. et Berthoin, S. (2005, Sep). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. Eur J Appl Physiol, 95(1), 27-34. doi: 10.1007/s00421-005-1382-8

Esposito, F., Impellizzeri, F. M., Margonato, V., Vanni, R., Pizzini, G. et Veicsteinas, A. (2004, Oct). Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. Eur J Appl Physiol, 93(1-2), 167-172. doi: 10.1007/s00421-004-1192-4

Fleck, S. J. (1999). Periodized Strength Training-A Critical Review

Foster, C. (1997). Monitoring training in athletes with reference to overtraining syndrome

Foster, C., Daines, E., Hector, L., Snyder, A. C. et Welsh, R. (1996, Jun). Athletic performance in relation to training load. Wis Med J, 95(6), 370-374

Foster, C., Florhaug, J. et J., F. (2001). A new approach to monitoring exercise training

Foster, C., Hector, L. L., Welsh, R., Schrager, M., Green, M. A. et Snyder, A. C. (1995). Effects of specific versus cross-training on running performance. Eur J Appl Physiol Occup Physiol, 70(4), 367-372

Gabbett, T. J. (2000, Aug). Physiological and anthropometric characteristics of amateur rugby league players. Br J Sports Med, 34(4), 303-307

Gaesser, G. A. et Brooks, G. A. (1984). Metabolic bases of excess post-exercise oxygen consumption: A review. Med Sci Sports Exerc, 16(1), 29-43

Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. et Brooks, S. (1993, Aug). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. J Appl Physiol (1985), 75(2), 712-719. doi: 10.1152/jappl.1993.75.2.712

Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. Sports Med, 31(10), 725-741. doi: 10.2165/00007256-200131100-00003

Gastin, P. B. et Lawson, D. L. (1994). Variable resistance all-out test to generate accumulated oxygen deficit and predict anaerobic capacity. Eur J Appl Physiol, 69:331-336

Glaister, M. (2005). Multiple sprint work : physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. Sports Med, 35(9), 757-777. doi: 10.2165/00007256-200535090-00003

Gollnick, P. D., Bayly, W. M. et Hodgson, D. R. (1986). Exercise intensity, training, diet, and lactate concentration in muscle and blood. Medicine and Science in Sports and Exercise

Goodwin, M. L., Harris, J. E., Hernández, A. et Gladden, L. B. (2007). Blood Lactate Measurements and Analysis during Exercise: A Guide for Clinicians. Journal of Diabetes Science and Technology, Volume 1

Green, J. M., McLester, J. R., Crews, T. R., Wickwire, P. J., Pritchett, R. C. et Lomax, R. G. (2006). RPE association with Lactate and Heart Rate during High-Intensity Interval Cycling. Medicine & Science in Sports & Exercise, 38(1), 167-172. doi: 10.1249/01.mss.0000180359.98241.a2

Hamilton, A. L., Nevill, M. E., Brooks, S. et Williams, C. (1991, Winter). Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. J Sports Sci, 9(4), 371-382. doi: 10.1080/02640419108729897

Harris, R. C., Edwards, R. T. et Hultman, E. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. European Journal of Physiology, 367 (2), 137-142

Haseler, L. J., Hogan, M. C., Richardson, R. S., Mccully, K. K., Mulcahy, T. K., Ryan, T. E. et Russell, S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O2 availability. J Appl Physiol, 2013-2018

Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U. et Hoff, J. (2001, Nov). Aerobic endurance training improves soccer performance. Med Sci Sports Exerc, 33(11), 1925-1931

Higgins, J. P., Thompson, S. G., Deeks, J. J. et Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. The British Medical Journal

Hill, Long, C. et Lupton, H. (1924). Muscular Exercise, Lactic Acid, and the Supply and Utilisation of Oxygen

Hill, D. W. (1999, Jun). Energy system contributions in middle-distance running events. J Sports Sci, 17(6), 477-483. doi: 10.1080/026404199365786

Hoff, J. (2005, Jun). Training and testing physical capacities for elite soccer players. J Sports Sci, 23(6), 573-582. doi: 10.1080/02640410400021252

Hoff, J., Wisloff, U., Engen, L. C., Kemi, O. J. et Helgerud, J. (2002, Jun). Soccer specific aerobic endurance training. Br J Sports Med, 36(3), 218-221

Hoffman, J. R., Epstein, S., Einbinder, M. et Weinstein, Y. (1999). The Influence of Aerobic Capacity on Anaerobic Performance and Recovery Indices in Basketball Players. The Journal of Strength and Conditioning Research, 13(4), 407-411. doi: 10.1519/1533-4287(1999)013<0407:Tioaco>2.0.Co;2

Howley, E. T., Bassett, D. R., Jr. et Welch, H. G. (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. Med Sci Sports Exerc, 27(9), 1292-1301

Hultman, E., Greenhaff, P. L., Ren, J. M. et Soderlund, K. (1991, Apr). Energy metabolism and fatigue during intense muscle contraction. Biochem Soc Trans, 19(2), 347-353. doi: 10.1042/bst0190347

Hultman, E. et Sjoholm, H. (1983). Energy metabolism and contraction force of human skeletal muscle in situ during electrical stimulation. J Physiol, 345, 525-532

Ide, K., Schmalbruch, I. K., Quistorff, B., Horn, A. et Secher, N. H. (2000, Jan 1). Lactate, glucose and O2 uptake in human brain during recovery from maximal exercise. J Physiol, 522 Pt 1, 159-164

Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Coutts, A. J., Sassi, A. et Marcora, S. M. (2004). Use of RPE-Based Training Load in Soccer. Medicine & Science in Sports & Exercise, 36(6), 1042-1047. doi: 10.1249/01.mss.0000128199.23901.2f

Jacobs, I., Bar-Or, O. et Karlsson, J. (1982). Changes in muscle meta- bolites in females with 30-s exhaustive exercise. Med Sci Sports Exerc, 14 (6): 457-60

Jones, N., McCartney, N. et Graham, T. (1985). Muscle performance and metabolism in maximal isokinetic cycling at slow and fast speeds. . J Appl Physiol, 59 (1): 132-6

Karvonen, M. J., Kentala, E. et Mustala, O. (1957). The effects of training on heart rate; a longitudinal study. Ann Med Exp Biol Fenn, 35(3), 307-315

Kavanagh, M. et Jacobs, I. (1988). Breath-by-breath oxygen consumption during performance of the Wingate Test. Canadian journal of sport sciences

Kjaer, M. (1989). Epinephrine and some other hormonal responses to exercise in man: with special reference to physical training. Int J Sports Med

Lakomy, H. (2000). Physiology and biochemistry of sprinting. Running: handbook of sports medicine and science

Lindinger, M. I., Kowalchuk, J. M. et Heigenhauser, G. J. (2005, Sep). Applying physicochemical principles to skeletal muscle acid-base status. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 289(3), R891-894; author reply R904-910. doi: 10.1152/ajpregu.00225.2005

Little, T. et Williams, A. G. (2007, May). Measures of exercise intensity during soccer training drills with professional soccer players. J Strength Cond Res, 21(2), 367-371. doi: 10.1519/R-19445.1

Maughan, R. G., M.; Greenhaff, PL. . (1997). Biochemistry of exercise and training. Oxford: Oxford University Press

Mays, R. J. (2010). A comparison of practical assessment methods to determine treadmill, cycle, and elliptical ergometer _vo2peak. journal of strength and conditioning research

McCann, D. J., Mole, P. A. et Caton, J. R. (1995). Phosphocreatine kinetics in humans during exercise and recovery. Medical Science and Sports Exercise. Medical Science and Sports Exercise, 27, 378-387

McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J. et McKenna, M. J. (1995a, Oct). The physiological load imposed on basketball players during competition. J Sports Sci, 13(5), 387-397. doi: 10.1080/02640419508732254

McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J. et McKenna, M. J. (1995b). The physiological load imposed on basketball players during competition. / La charge physiologique imposee aux joueurs de basket-ball en competition. Journal of Sports Sciences, 13(5), 387-397

McMahon, S. et Wenger, H. (1998). The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. J Sci Med Sport, 1-219–227

McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R. et Hoff, J. (2005, May). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. Br J Sports Med, 39(5), 273-277. doi: 10.1136/bjsm.2004.012526

Meckel, Y., Casorla, T. et Eliakim, A. (2009). The Influence of Basketball Dribbling on Repeated Sprints. International Journal of Coaching Science, 3(2), 43-56

Mense, S. (2009, Jun). Algesic agents exciting muscle nociceptors. Exp Brain Res, 196(1), 89-100. doi: 10.1007/s00221-008-1674-4

Mitchell, J. H. et Sproule, B. J. (1957). The physiological meaning of the maximal oxygen intake test

Mole, P. A., Chung, Y., Tran, T. K., Sailasuta, N., Hurd, R. et Jue, T. (1999, Jul). Myoglobin desaturation with exercise intensity in human gastrocnemius muscle. Am J Physiol, 277(1 Pt 2), R173-180

Monedero, J. et Donne, B. (2000, Nov). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. Int J Sports Med, 21(8), 593-597. doi: 10.1055/s-2000-8488

Montgomery, P. G., Pyne, D. B. et Minahan, C. L. (2010, Mar). The physical and physiological demands of basketball training and competition. Int J Sports Physiol Perform, 5(1), 75-86. doi: 10.1123/ijspp.5.1.75

Morris, D. M., Shafer, R. S., Fairbrother, K. R. et Woodall, M. W. (2011, Aug). Effects of lactate consumption on blood bicarbonate levels and performance during high-intensity exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab, 21(4), 311-317

Moyna, N., Robertson, RJ, Meckes, CL, Peoples, JA, Millich, NB, and Thompson, PD. (2001). Intermodal comparison of energy expenditure at exercise intensities corresponding to the perceptual preference range Med Sci Sports Exerc 33- 1404–1410

Narazaki, K., Berg, K., Stergiou, N. et Chen, B. (2009, Jun). Physiological demands of competitive basketball. Scand J Med Sci Sports, 19(3), 425-432. doi: 10.1111/j.1600-0838.2008.00789.x

Neville, A. M., Jones, D. A., McIntyre, D., Bogdanis, G. C. et Neville, M. E. (1997). A model for phosphocreatine resynthesis. Journal of applied physiology

NSART. (1996). Speed in the 800 metres., New Studies in Athletics Round Table (vol. 11 (4)- 7-22.)

O'Brien, B. et Gastin, P. ( 1997). Acomparison of active and passive warm ups on energy system contribution and performance in moderate heat. Aust J Sci Med Sport, , 29 (4): 106-9

Ozkan, A. et Kin-Isler, A. (2007, Feb). The reliability and validity of regulating exercise intensity by ratings of perceived exertion in step dance sessions. J Strength Cond Res, 21(1), 296-300. doi: 10.1519/R-18425.1

Parolin, M. L., Chesley, A., Matsos, M. P., Spriet, L. L., Jones, N. L. et Heigenhauser, G. J. F. (1999). Regulation of skeletal muscle glycogen phosphorylase and PDH during maximal intermittent exercise. the American Physiological Society

Phillips, S. (2015). Fatigue in sport and exercise. London and New York : Routledge

Putman, C. T., Jones, N. L., Lands, L. C., Bragg, T. M., Hollidge-Horvat, M. G. et Heigenhauser, G. J. (1995, Sep). Skeletal muscle pyruvate dehydrogenase activity during maximal exercise in humans. Am J Physiol, 269(3 Pt 1), E458-468. doi: 10.1152/ajpendo.1995.269.3.E458

Ramsbottom, R., Nevill, A. M., Nevill, M. E., Newport, S. et Williams, C. (1994). Accumulated oxygen deficit and short-distance running performance. J Sports Sci, 12(5), 447-453. doi: 10.1080/02640419408732194

Richardson, R. S., Noyszewski, E. A., Kendrick, K. F., Leigh, J. S. et Wagner, P. D. (1995, Oct). Myoglobin O2 desaturation during exercise. Evidence of limited O2 transport. J Clin Invest, 96(4), 1916-1926. doi: 10.1172/JCI118237

Robergs, D., Ghiasvand, F. et Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol, 287(3). doi: 10.1152/ajpregu.00114.2004

Robergs, R. A., Ghiasvand, F. et Parker, D. (2005). Lingering construct of lactic acidosis. American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 289(3), R904-R910. doi: 10.1152/ajpregu.00117.2005

Robinson, D. M., Robinson, S. M. et Hume, P. A. (1991). Training intensity of elite male distance runners. med Sci Sports Exerc, 23 (9)- 1078-82

Rodriguez-Alonso, M., Fernandez-Garcia, B., Perez-Landaluce, J. et Terrados, N. (2003). Blood lactate and heart rate during national and international women's basketball. J Sports Med Phys Fitness, 43(4), 432-436.

Sahlin, K. (1986). Metabolic changes limiting muscle performance. Int. Series Sport Sci., 323–343.

Sahlin, K., Harris, R. et Hultman, E. (1975). Creatine kinase equilibrium and lactate content compared with muscle pH in tissue samples obtained after isometric exercise. Biochemistry Journal, 152 (2), 173-180

Sahlin, K., Harris, R. et Hultman, E. (1979). Resynthesis of creatine phosphate in human muscle after exercise in relation to intramuscular pH and availability of oxygen. Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports, 39 (6), 551-558

Sale, D. G. (1987). Influence of exercise and training on motor unit activation. Exerc Sport Sci Rev, 15, 95-151

Saltin, B. (1969). Physiological effects of physical conditioning. Medicine and Science in Sports and Exercise, pp50-56

Schelling, X. et Torres-Ronda, L. (2013). Conditioning for Basketball. Strength and Conditioning Journal, 35(6), 89-94. doi: 10.1519/ssc.0000000000000018

Shephard, R. J., Allen, C., Benade, A. J., Davies, C. T., Di Prampero, P. E., Hedman, R., Simmons, R. (1968). The maximum oxygen intake. An international reference standard of cardiorespiratory fitness. Bull World Health Organ, 38(5), 757-764.

Spencer, M., Bishop, D., Dawson, B. et Goodman, C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. Sports Medicine, 35(12), 1025-1044

Stojanovic, E., Stojiljkovic, N., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., Berkelmans, D. M. et Milanovic, Z. (2017, Oct 16). The Activity Demands and Physiological Responses Encountered During Basketball Match-Play: A Systematic Review. Sports Med. doi: 10.1007/s40279-017-0794-z

Stojanovic, E., Stojiljkovic, N., Scanlan, A. T., Dalbo, V. J., Berkelmans, D. M. et Milanovic, Z. (2018, Jan). The Activity Demands and Physiological Responses Encountered During Basketball Match-Play: A Systematic Review. Sports Med, 48(1), 111-135. doi: 10.1007/s40279-017-0794-z

Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C. et Wisl??ff, U. (2005). Physiology of Soccer. Sports Medicine, 35(6), 501-536. doi: 10.2165/00007256-200535060-00004

Stone, N. M. et Kilding, A. E. (2009). Aerobic conditioning for team sport athletes. Sports Med, 39(8), 615-642. doi: 10.2165/00007256-200939080-00002

Sweet, T. W., Foster, C., McGuigan, M. R. et Brice, G. (2004). Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. J Strength Cond Res, 18 (4)- 796-802

Tavino, L. P. et Bowers, C. J. (1995). Effects of Basketball on Aerobic Capacity, Anaerobic Capacity, and Body Composition of Male College Players

Tomlin, D. L. et Wenger, H. A. (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. Sports Med 31-1–11

Trump, M. E., Heigenhauser, G. J., Putman, C. T. et Spriet, L. L. (1996, May). Importance of muscle phosphocreatine during intermittent maximal cycling. J Appl Physiol (1985), 80(5), 1574-1580. doi: 10.1152/jappl.1996.80.5.1574

Wada, M., Kuratani, M. et Kanzaki, K. (2013). Calcium kinetics of sarcoplasmic reticulum and muscle fatigue. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 2(2), 169-178. doi: 10.7600/jpfsm.2.169

Westerblad, H., Bruton, J. D. et Katz, A. (2010, Nov 1). Skeletal muscle: energy metabolism, fiber types, fatigue and adaptability. Exp Cell Res, 316(18), 3093-3099. doi: 10.1016/j.yexcr.2010.05.019

Wicks, J. R., Oldridge, N. B., Nielsen, L. K. et Vickers, C. E. (2011, Oct). HR index--a simple method for the prediction of oxygen uptake. Med Sci Sports Exerc, 43(10), 2005-2012. doi: 10.1249/MSS.0b013e318217276e

Williams JG, E. R. (1989). Determination of the intensity dimension in vigorous exercise programmes with particular reference to the use of the rating of perceived exertion. . Sports Med, 8 (3)- 177-89

Withers, R. T., Roberts, G. D. et Davies, G. J. (1977, Dec). The maximum aerobic power, anaerobic power and body composition of South Australian male representatives in athletics, basketball, field hockey and soccer. J Sports Med Phys Fitness, 17(4), 391-400

Yoshida, T. (2002). The rate of phosphocreatine hydrolysis and resynthesis in exercising muscle in humans using 31P-MRS. Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science, 247-255