

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE (3407)

PAR
EDUARDO FREIBERGER

LA CAPACITÉ À RÉPÉTER DES SPRINTS AVEC DES PÉRIODES DE
RÉCUPÉRATION REPRÉSENTATIVES DES DEMANDES D'UN MATCH DE
SOCCER

JANVIER 2014

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE

Ce mémoire a été dirigé par :

François Trudeau, PhD	Université du Québec à Trois-Rivières
directeur de recherche, grade	Rattachement institutionnel

Claude Lajoie, PhD	Université du Québec à Trois-Rivières
codirecteur de recherche, grade	Rattachement institutionnel

Jury d'évaluation du mémoire :

Alain-Steve Comtois, PhD	Université du Québec à Montréal
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

Louis Laurencelle, PhD	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

François Trudeau, PhD	Université du Québec à Trois-Rivières
Prénom et nom, grade	Rattachement institutionnel

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	i
REMERCIEMENTS	iv
LISTE DES ABRÉVIATIONS	v
LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
CHAPITRES	
I. INTRODUCTION	1
II. RECENSION DES ÉCRITS	3
Caractéristiques d'un match de soccer	3
Déplacements sur le terrain	3
Performance technique et fatigue	8
Capacité à répéter des sprints	10
Métabolisme musculaire pendant des sprints répétés	12
VO ₂ max et l'exécution de sprints répétés	16
Lactatémie, pH intramusculaire et l'exécution de sprints répétés	19
Oxygénéation musculaire, saturation artérielle en oxygène et l'exécution de sprints répétés	21
III. PROBLÉMATIQUE	25
IV. OBJECTIFS	27
V. HYPOTHÈSES	28
VI. MÉTHODOLOGIE	29

Participants.....	29
Test de VAM	30
Test de SBP.....	31
Test de SLA	32
Analyse statistique	34
VII. RÉSULTATS	36
Oxygénation musculaire lors des tests de SLA et de SBP	39
VIII. DISCUSSION	44
Mesures liées à l'oxygénation périphérique	47
IX. CONCLUSION	49
X. RÉFÉRENCES.....	51

RÉSUMÉ

Le soccer est un sport d'équipe dans lequel les joueuses, à l'exception de la gardienne de but, parcourent une distance moyenne d'environ 10 km par match. La majorité de cette distance est parcourue en basse intensité d'effort physique. Par contre, les athlètes doivent également être capables de répéter des sprints. Cela parce que ces sprints sont réalisés lors de moments cruciaux pendant un match. Certaines études ont évalué la capacité à répéter des sprints en appliquant des tests de sprints entrecoupés des brèves périodes de récupération passive (d'environ 20 s), ce qui ne représentait pas le ratio d'effort observé durant un match de soccer. Ainsi, l'objectif de cette recherche était de comparer un test de capacité à répéter des sprints, composé de 6 sprints de 20 m entrecoupés de brèves périodes (20 s) de récupération passive (SBP), à un autre test, composé de 6 sprints de 20 m entrecoupés de longues périodes (2 min et 45 s) de récupération active (SLA). Le dernier test étant plus représentatif d'une situation de match respectant ainsi le principe physiologique de spécificité. La performance aux deux tests des sprints SLA et SBP a été indiquée par le temps moyen d'un sprint, le meilleur temps d'un sprint et le déclin de performance. Un troisième test, vitesse aérobie maximale (VAM), a mesuré les paramètres physiologiques : consommation d'oxygène maximale ($\dot{V}O_2\text{max}$), vitesse minimale pour atteindre le $\dot{V}O_2\text{max}$ ($v\dot{V}O_2\text{max}$) et vitesse à laquelle on observe une accumulation de La ($vaLa$). De plus, une mesure commune aux trois tests était l'oxygénéation périphérique ($\Delta[\text{HHb}]$, $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et $\Delta[\text{THb}]$), dans le muscle *vastus lateralis*. Cette mesure a été effectuée par spectroscopie dans le proche

infrarouge (NIRS). Les participantes de cette étude, onze joueuses de soccer et une coureuse de cross-country de niveau universitaire engagées à un entraînement régulier d'au moins trois fois par semaine ($n = 12$; âge, $22,5 \pm 2,7$ ans; taille, 166 ± 4 cm; masse corporelle, $57,1 \pm 5,6$ kg), ont réalisé les trois tests selon un ordre aléatoire, en respectant un intervalle d'au moins 24 h.

Les résultats de cette recherche démontrent qu'il n'y a pas eu d'effet significatif du facteur «type de récupération» sur le temps moyen d'exécution d'un sprint (SLA, $3,57 \pm 0,12$ s vs SBP, $3,59 \pm 0,15$ s, $p = 0,25$). Il y a eu un effet significatif du facteur «moment» (sprints) et de l'interaction des facteurs «moment x type de récupération» sur le temps moyen d'exécution d'un sprint ($p < 0,01$). La composante linéaire de cette interaction ($ddl = 1$; $CM = 0,041$; $F = 8,324$; $p = 0,015$) indique que le test de SBP a entraîné une dérive du temps d'exécution d'un sprint plus importante que le test de SLA. Pendant le test de SBP, le premier sprint a été plus bref que tous les sprints, sauf le cinquième; et le deuxième sprint a été plus bref que le sixième ($p < 0,05$). Au test de SLA, il n'y a pas eu de différence significative entre les temps d'exécution des 6 sprints. Par rapport aux paramètres physiologiques, il y a eu une corrélation inverse significative entre le VO_2max et le temps moyen d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52$, $p = 0,04$) et aussi entre le VO_2max et le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52$, $p = 0,04$). Relativement à l'oxygénation périphérique, le test de SBP a provoqué une extraction moyenne de l'oxygène plus élevée dans le muscle *vastus lateralis* que le test de SLA. Cette différence est marquée par une réduction plus grande

du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ au test de SBP, alors que le $\Delta[\text{HHb}]$ et le $\Delta[\text{THb}]$ n'ont pas été significativement différents lors des tests de SLA et de SBP. L'analyse par sprint montre une diminution moyenne significative du $\Delta[\text{THb}]$ pendant les deux tests (SLA : $-8,06 \pm 2,88 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, SBP : $-6,69 \pm 2,93 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < 0,01$). Cette chute du $\Delta[\text{THb}]$ a été accompagnée d'une réduction du $\Delta[\text{HHb}]$ (SLA : $-1,06 \pm 0,76$, SBP : $-0,88 \pm 0,77 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < 0,01$) et d'une réduction significative du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ (SLA : $-7,00 \pm 2,51$, SBP : $-5,81 \pm 2,65 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < 0,01$). Malgré la diminution du $\Delta[\text{HHb}]$, la diminution encore plus élevée du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ a déterminé une réduction de l'oxygénéation du muscle *vastus lateralis* pendant les sprints des deux tests.

En contrepartie aux différences observées lors des diverses mesures réalisées pendant le test de SBP et de SLA, les corrélations élevées entre les indicateurs de performance de ces deux tests (temps moyen, $r = 0,80$, $p = 0,002$, meilleur temps, $r = 0,84$, $p = 0,001$) suggèrent que les sujets aptes à bien performer le test de SLA sont aussi aptes à bien exécuter le test de SBP. Ainsi, comme le test de SBP est plus bref et moins complexe que le test de SLA, il est recommandé d'utiliser le test de SBP pour l'évaluation de la capacité à répéter des sprints chez des joueuses de soccer.

REMERCIEMENTS

J'envoie mes remerciements à tous qui ont collaboré à la réalisation de ce mémoire. Premièrement, je remercie François Trudeau, Ph.D., professeur à l'Université du Québec à Trois-Rivières. En tant que directeur de recherche, son orientation sur le plan méthodologique et de rédaction a contribué exceptionnellement à mon enrichissement académique. Je remercie Claude Lajoie, Ph.D., professeur et co-directeur de recherche qui a également contribué à l'élaboration de ce projet. De plus, il m'a permis d'apprendre l'application de plusieurs tests au laboratoire de physiologie de l'exercice, ce qui a été fondamental pour l'accomplissement de cette recherche.

J'adresse aussi mes remerciements à Pierre Black, conseiller aux activités d'enseignement, et aux professeurs Jean Lemoyne, Ph.D., et Louis Laurencelle, Ph.D, qui ont été toujours disponibles pour répondre à mes questions avec exactitude et patience. J'exprime encore ma gratitude envers Alexandre Campello Leal et Pierre-Luc Yao, collègues étudiants qui m'ont aidé directement dans mes expérimentations.

Je remercie spécialement Sébastien Blanchette, Jean-François Dionne et Philippe Gendron, collègues étudiants qui m'ont accompagné pendant mon cheminement et qui ont contribué énormément à mon apprentissage et mon enrichissement personnel.

Finalement, je souhaite adresser mes remerciements à ma famille qui est restée au Brésil, et qui m'a toujours soutenu et encouragé pendant la réalisation de ce mémoire.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

CRS : capacité à répéter des sprints.

DAO : déficit accumulé d'oxygène.

FC : fréquence cardiaque.

FCmax : fréquence cardiaque maximale.

FiO_2 : fraction inspirée d'oxygène.

HHb : désoxyhémoglobine.

$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: kilomètre par heure.

[La] : lactatémie, concentration de lactate.

LIST : *Loughborough intermittent shuttle test*.

$\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$: litres par minute.

$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: mètres par seconde.

min : minute.

$\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$: millilitres consommés par kilogramme de masse corporelle par minute.

$\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$: micromoles par litre.

$\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$: millimoles par kilogramme.

$\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$: millimoles par litre.

mV : millivolt.

NIRS : *Near Infrared Spectroscopy* (spectroscopie dans le proche infrarouge).

O₂ : oxygène.

O₂Hb : oxyhémoglobine.

PCr : phosphorylcréatine.

RPM : révolution par minute.

s : seconde.

SL : seuil lactique.

SpO₂ : saturation artérielle en oxygène.

SBP : sprints entrecoupés de brèves périodes de récupération passive.

SLA : sprints entrecoupés de longues périodes de récupération active.

THb : quantité totale d'hémoglobine.

vaLa : vitesse à laquelle on observe une accumulation de La.

vs : versus.

VO_2 : consommation d'oxygène.

$\text{VO}_{2\text{max}}$: consommation d'oxygène maximale.

$v\text{VO}_{2\text{max}}$: vitesse minimale pour atteindre le $\text{VO}_{2\text{max}}$.

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	Page
1. Analyse de la distance parcourue à différentes intensités de travail selon les différentes positions de jeu.....	6
2. Caractéristiques anthropométriques et physiologiques des participantes.....	35
3. Résultats des tests de sprints entrecoupés de longues périodes de récupération active (SLA) et de sprints entrecoupés de brèves périodes de récupération passive (SBP).....	36
4. Résultats des corrélations de Pearson entre les indicateurs de performance aux tests de SLA et de SBP, et certains paramètres physiologiques.....	38
5. Valeurs du $\Delta[\text{HHb}]$, du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et du $\Delta[\text{THb}]$ durant les tests de SLA et de SBP.....	42

LISTE DES FIGURES

Figures	Page
1. Distances et vitesses déployées durant la période de récupération active du test de SLA.....	32
2. Temps moyen d'exécution de chaque sprint de 20 m aux tests de SLA et de SBP.....	37
3. Évolution de la concentration de désoxyhémoglobine ($\Delta[\text{HHb}]$) dans le muscle <i>vastus lateralis</i> par rapport à la valeur de repos.....	39
4. Évolution de la concentration d'oxyhémoglobine ($\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$) dans le muscle <i>vastus lateralis</i> par rapport à la valeur de repos.....	40
5. Évolution de la concentration de la quantité totale d'hémoglobine ($\Delta[\text{THb}]$) dans le muscle <i>vastus lateralis</i> par rapport à la valeur de repos.....	41

CHAPITRE I

INTRODUCTION

La Fédération internationale de football association (FIFA) estime qu'il y a approximativement 270 millions de personnes (joueurs, joueuses et arbitres) activement engagées au soccer dans le monde. De plus, le soccer, ou football selon les pays, serait reconnu comme le sport d'équipe le plus populaire au monde (Guttmann, 1994) ou comme le sport activement suivi par le nombre le plus important de partisans (Harvey, 2005).

D'après Currell, Conway et Jeukendrup (2009), l'augmentation des intérêts compétitifs et commerciaux conduit les clubs vers une approche plus scientifique du développement du soccer. Afin de mieux apprécier et cibler les demandes physiques du soccer, quelques études ont observé les caractéristiques de déplacement des joueurs lors de matchs (Bloomfield, Polman et O'Donoghue, 2007; Bradley, Sheldon, Wooster, Olsen, Boanas et Krstrup, 2009; Di Salvo, Baron, Tschan, Calderon Montero, Bachl et Pigozzi, 2007). L'identification des exigences du sport ne se limite pas seulement à la détermination de la distance parcourue par les joueurs. L'analyse des déplacements au soccer démontre de nombreuses actions, des changements de direction et d'intensité (Bloomfield et al., 2007), des variations de déplacement en fonction des positions des joueurs, de la possession du ballon et de la période du match durant une partie (Barros,

Misuta, Menezes, Figueroa, Moura, Cunha, Anido et Leite, 2007). Selon Rienzi, Drust, Reilly, Carter et Martin (2000), il y a un consensus sur le fait que les joueurs de haut niveau couvrent une distance d'environ 10 km par match, où la majorité du parcours est réalisée à basse intensité. Pourtant, ils soulignent que des efforts de haute intensité, même s'ils sont brefs et peu fréquents, sont importants parce qu'ils sont exigés dans des moments cruciaux du match.

D'autres sports comme, par exemple, le basketball, le tennis et le hockey, exigent aussi l'exécution d'efforts maximaux de façon intermittente (Gaitanos, Williams, Boobis et Brooks, 1993). Ce constat a suscité l'intérêt des chercheurs à mieux comprendre cette capacité à répéter des sprints (CRS). Conséquemment, plusieurs études ont analysé les relations entre cette capacité et certains paramètres physiologiques requis. La recension des écrits qui suit décrit des caractéristiques du match de soccer et des interactions entre quelques aspects physiologiques et la CRS. Cela amène au développement d'une problématique et à des hypothèses proposées par cette étude.

CHAPITRE II

RECENSION DES ÉCRITS

Caractéristiques d'un match de soccer

Déplacements sur le terrain. La gestion de la condition physique et physiologique des joueurs de soccer élite est liée directement à la connaissance des exigences de la performance (Bloomfield et al., 2007). Pour déterminer ces demandes, l'enregistrement des actions des joueurs à l'aide de la vidéo est un outil non-invasif utilisé dans les recherches. Cette méthode permet une analyse plus fine de mouvements spécifiques, comme des sauts, des plongeons, les changements de direction et de trajectoires effectuées, ou une analyse plus générale, en déterminant les distances et les vitesses atteintes par les athlètes.

Bloomfield et al. (2007) ont analysé les mouvements au soccer de façon détaillée à l'aide de la *Bloomfield movement classification*, qui identifie et sépare les mouvements intentionnels (MI) des mouvements non intentionnels réalisés par les joueurs. Selon cette classification, un mouvement est considéré intentionnel lors qu'il est exécuté dans une situation où il y a un objectif envisagé par l'athlète. Telle situation peut être, par exemple, la possession du ballon, la compétition pour le ballon, l'échappée pour se libérer de l'adversaire et recevoir le ballon, et d'autres mouvements d'ordre tactique. Dans cette étude, il a été constaté que les joueurs de la ligue anglaise (*FA Premier*

League) dépensent $40,6 \pm 10\%$ du temps de match en exécutant des MI. Plus précisément, ils ont passé $48,7 \pm 9,2\%$ du temps de MIs en se déplaçant vers l'avant, $20,6 \pm 6,8\%$ sans se déplacer et le temps restant dans des déplacements en diverses directions (en reculant, en latéral, en diagonal et en arc). Rampinini, Bishop, Marcora, Ferrari Bravo, Sassi et Impellizzeri (2007) ont mesuré les distances et les vitesses de déplacement de joueurs durant des matchs de la ligue des champions de l'UEFA (*Union of European Football Associations*). Les vitesses développées ont été classifiées comme : stationnaire (0 à $0,7 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), marche ($0,7$ à $7,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), jogging ($7,2$ à $14,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), course ($14,4$ à $19,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), course à haute vitesse ($19,8$ à $25,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), et sprint ($> 25,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Les distances moyennes parcourues dans chaque catégorie ont été respectivement : $4\ 030 \pm 344 \text{ m}$; $4\ 588 \pm 697 \text{ m}$; $1\ 847 \pm 474 \text{ m}$; $697 \pm 142 \text{ m}$; et $199 \pm 62 \text{ m}$. Ces distances correspondent à $35,5\%$, $40,4\%$, $16,25\%$, $6,1\%$ et $1,75\%$ de la somme des distances ($11\ 361 \text{ m}$).

En observant le profil de déplacement chez les joueurs de soccer de la ligue anglaise (*FA Premier League*), Bradley et al. (2009) ont inclus dans leur analyse les positions des joueurs, les périodes du match et la condition de possession ou pas du ballon comme variables. Effectivement, ces variables ont influencé le profil de déplacement des athlètes. Ils ont observé que les milieux externes ont parcouru à haute intensité ($> 14,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) une distance moyenne significativement plus grande ($3\ 138 \pm 565 \text{ m}$) que celle des milieux centraux ($2\ 825 \pm 473 \text{ m}$, $p < 0,04$), des défenseurs externes ($2\ 605 \pm 387 \text{ m}$, $p < 0,01$), des attaquants ($2\ 341 \pm 575 \text{ m}$, $p < 0,01$) et des défenseurs centraux ($1\ 834 \pm 256 \text{ m}$, $p < 0,01$). En comparant les premières aux

dernières 15 minutes du match, les auteurs ont observé une réduction d'approximativement 20% de la distance parcourue à haute intensité, et ce à toutes les positions. Également, en comparant ces mêmes périodes de match, des joueurs de la première division italienne et de la ligue des champions de l'UEFA ont réduit de 14 à 45% leurs déplacements à haute intensité ($\geq 15 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) pendant que des joueurs de la ligue danoise ont réduit de 17% à 35% leurs déplacements à haute intensité (Mohr, Krustrup et Bangsbo, 2003).

Les distances parcourues à haute intensité ($> 14,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) par rapport à la possession du ballon pendant les premières et les dernières 15 minutes de match démontrent, aussi, des différences significatives dans l'étude de Bradley et al. (2009). Durant ces deux périodes, les distances ont été respectivement de 193 ± 96 vs 148 ± 78 m ($p < 0,01$) avec la possession, et de 278 ± 97 vs 229 ± 85 m ($p < 0,01$) sans la possession du ballon. Outre que la baisse de la performance physique tout au long du match soit causée par la fatigue ou par une réduction volontaire du rythme de jeu, ces données peuvent indiquer un désavantage pour l'équipe sans la possession du ballon. Possiblement, cette condition oblige les joueurs à augmenter davantage l'intensité de course pour récupérer le ballon. Un autre aspect important du profil de déplacement a été la durée des intervalles entre les efforts de très haute intensité ($> 19,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$). Ces périodes ont une durée moyenne de 72 ± 28 s au long du match. Par contre, par rapport aux premières 15 minutes, il y a eu une augmentation de 28% de la moyenne de ces intervalles aux dernières 15 minutes de match, soit de 65 ± 20 s à 83 ± 26 s ($p < 0,01$). Similairement, Di Salvo et al. (2007) ont décrit les caractéristiques de déplacement des

joueurs, par rapport aux positions des joueurs pendant des matchs de la première division de la ligue espagnole et de la ligue des champions de l'UEFA. La distance moyenne totale parcourue indépendamment des positions a été de $11\ 393 \pm 1\ 016$ m. Les milieux centraux et les milieux externes ont présenté une distance moyenne totale de déplacement (respectivement, $12\ 027 \pm 625$ m et $11\ 990 \pm 776$ m) significativement plus longue ($p < 0,0001$) que des défenseurs externes ($11\ 410 \pm 208$ m), des attaquants ($11\ 254 \pm 894$ m) et des défenseurs centraux ($10\ 627 \pm 893$ m). L'analyse de la distance parcourue selon différentes intensités de travail par rapport aux différentes positions réalisée par Di Salvo et al. (2007) est présentée au tableau 1.

Tableau 1. Analyse de la distance parcourue en différentes intensités de travail selon les différentes positions de jeu (Tiré et traduit de Di Salvo et al., 2007)

Positions	Distance parcourue (m)					
	Vitesse ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	0 – 11	11,1 – 14	14,1 – 19	19,1 – 23	> 23
Défenseurs centraux (DC)	$7\ 080 \pm 420$	$1\ 380 \pm 232^*$	$1\ 257 \pm 244^*$	$397 \pm 114^*$	$215 \pm 100^*$	
Défenseurs externes (DE)	$7\ 012 \pm 377$	$1\ 590 \pm 257^+$	$1\ 730 \pm 262^+$	$652 \pm 179^+$	$402 \pm 165^+$	
Milieux centraux (MC)	$7\ 061 \pm 272$	$1\ 965 \pm 288^{\#}$	$2\ 116 \pm 369^{\dagger}$	$627 \pm 184^+$	$248 \pm 116^*$	
Milieux externes (ME)	$6\ 960 \pm 601$	$1\ 743 \pm 309^{\circ}$	$1\ 987 \pm 412^{\dagger}$	$738 \pm 174^{\#}$	$446 \pm 161^{\dagger}$	
Attaquants (A)	$6\ 958 \pm 438$	$1\ 562 \pm 295^+$	$1\ 683 \pm 413^+$	$621 \pm 161^+$	$404 \pm 140^{\dagger}$	

$11,1\text{--}19\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: * significativement plus petite que les autres sous-groupes; $^+$ significativement différente de DC, MC, ME; $^{\#}$ significativement plus grande que les autres sous-groupes; $^{\circ}$ significativement différente de DC, DE, MC et A; † significativement différente de DC, DE et A. $19,1\text{--}23\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: * significativement plus petite que les autres sous-groupes; $^+$ significativement différente de DC et ME; $^{\#}$ significativement plus grande que les autres sous-groupes. $> 23\ \text{km} \cdot \text{h}^{-1}$: * significativement plus petite que les autres sous-groupes; † significativement différente de DC et MC.

Chez les joueurs de soccer de la première division de la ligue brésilienne, Barros et al. (2007) ont observé une distance moyenne totale de 437 ± 171 m parcourue à $23 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ou plus. Cette distance vérifiée par Barros et al. (2007) est comparable à la distance parcourue à la même intensité par des milieux externes, des attaquants et des défenseurs externes observés par Di Salvo et al. (2007). En plus, l'étude de Barros et al. (2007) démontre que des joueurs de la ligue brésilienne ont une tendance à parcourir une distance plus longue à des hautes vitesses ($> 19 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), lorsque comparés à des joueurs des ligues européennes analysés par Di Salvo et al. (2007). Cependant, indépendamment de la vitesse, les joueurs des ligues européennes ont une tendance à parcourir une distance totale plus longue lors d'un match que les joueurs de la ligue brésilienne, $11\,393 \pm 1\,016$ vs $10\,012 \pm 1\,024$ m respectivement. Les résultats de l'étude de Rienzi et al. (2000) corroborent ceux de Barros et al. (2007) et de Di Salvo et al. (2007), en ce qui concerne la distance totale couverte. Les joueurs de la ligue anglaise couvrent une distance totale significativement plus grande que des joueurs sud-américains du même niveau, $10\,104 \pm 703$ vs $8\,638 \pm 1\,158$ m, respectivement. D'après Rienzi et al. (2000), la ligue dans laquelle le match se déroule est un facteur qui peut déterminer le profil d'activité physique des athlètes. Ces différences, remarquées lors d'une compétition internationale en Amérique du Sud et du championnat anglais, peuvent être associées à la tactique élaborée par les entraîneurs en vertu des caractéristiques distinctes de ces compétitions. Néanmoins, les auteurs signalent que la mesure de la distance totale parcourue, en soi, est insuffisante pour déterminer les

demandes énergétiques d'un match. Cela parce qu'il n'est pas possible d'identifier les changements d'activité ou l'intensité développée dans le parcours.

Performance technique et fatigue. Un match de soccer exige des joueurs une combinaison de ses habiletés motrices globales et fines (Rienzi et al., 2000). Malgré que l'adoption d'une stratégie composée par de longues ou de brèves séquences de passes pour marquer un but soit controversée (Hughes et Franks, 2005), la capacité à soutenir tout au long du match l'exécution des compétences techniques, comme des passes, des tirs et des dribbles, est un atout fondamental pour le résultat d'une partie de soccer (Russell et Kingsley, 2011).

Russell, Benton et Kingsley (2011) mentionnent que la fatigue physique lors d'un match non seulement interfère avec la capacité de déplacement sur le terrain, mais diminue aussi la performance technique des athlètes. Durant un exercice de simulation d'un match, ces auteurs ont noté une détérioration des compétences techniques des participants au long du match simulé, caractérisée par une réduction de la vitesse des passes et de la précision des tirs. Après la première demie, par exemple, l'exécution des tirs a présenté une déviation moyenne de la cible de 31 ± 16 cm plus grande lorsque comparée au moment pré match. Similairement, après la deuxième demie, la déviation moyenne des tirs a été de 38 ± 16 cm plus grande qu'au moment pré match. Relativement aux passes, malgré la conservation de la précision de cet aspect technique, la vitesse moyenne du ballon lors des passes a diminué de la première à la deuxième

demie, de $13 \pm 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ à $12,2 \pm 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($p = 0,039$). Plus spécifiquement, durant les 15 dernières minutes du match simulé, la vitesse moyenne des passes a été de $7,8 \pm 4,3\%$ plus basse que durant les premières 15 minutes.

L'ingestion de glucides et l'hydratation peut contribuer à réduire les effets de la fatigue physique sur la performance technique (Currell et al., 2009, McGregor, Nicholas, Lakomy et Williams, 1999). En utilisant un exercice de simulation d'un match, Currell et al. (2009) ont trouvé un léger avantage pour ceux qui ont consommé des glucides (avant et durant la simulation) pour la précision des tirs (3,5%; $p = 0,014$) et la vitesse des dribbles (3,2%; $p < 0,001$) en comparaison à la consommation d'un placebo. Pourtant, dans l'étude de McGregor et al. (1999), une simple ingestion d'eau avant et durant un exercice de simulation des exigences physiques d'un match, le *Loughborough intermittent shuttle test* (LIST), a contribué au maintien de la capacité de dribbler après cet exercice. L'absence d'hydratation pendant cet effort a occasionné une détérioration de la compétence de dribbler de 5% ($p < 0,05$), en augmentant le temps pour accomplir le parcours des dribbles de $130 \pm 4,6 \text{ s}$ à $136 \pm 4,9 \text{ s}$.

L'étude menée par Ali et Williams (2009) a montré un effet du temps sur l'habileté d'effectuer des passes pendant le même exercice de simulation (LIST) appliquée par McGregor et al. (1999). Dans ce cas, il y a eu une réduction de la performance des passes à la 75^{ième} et à la 90^{ième} minute du match simulé en comparaison à la première demie. Bien que n'étant pas significative, les auteurs indiquent une tendance favorable de l'ingestion d'une supplémentation en glucides pour réduire la

détérioration de la compétence technique : 3% de détérioration avec et 14% sans glucides ($p = 0,07$). Semblablement, Ali, Gardiner, Foskett et Gant (2011) ont évalué l'effet de l'ingestion d'eau sur la performance aux passes de joueuses de soccer durant le LIST. Par contre, il n'y a pas eu de différence entre l'exécution des passes avec ou sans l'ingestion d'eau. En plus, différemment de l'étude d'Ali et al. (2009), le temps n'a pas eu un effet sur l'habileté d'effectuer des passes au long du test dans les deux conditions.

Capacité à répéter des sprints

Plusieurs sports d'équipe exigent des participants l'exécution répétée de sprints maximaux ou proches de la vitesse maximale, avec de brèves périodes de récupération (Gaitanos et al., 1993; Wadley et Le Rossignol, 1998). La capacité à répéter des sprints (CRS) implique la capacité de performer plusieurs sprints mais aussi avec une durée de récupération minimale entre chaque sprint (Spencer, Bishop, Dawson et Goodman, 2005). Même avec une association modérée, cette capacité a été corrélée à une bonne performance physique au soccer et, donc, mérite un examen plus attentif des chercheurs. Par exemple, Rampinini et al. (2007) ont trouvé une corrélation inverse ($r = -0,60$; $p < 0,01$) entre le temps moyen d'exécution des sprints répétés lors d'un test et la distance totale parcourue à très haute intensité ($> 19,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) durant un match de soccer. Aussi, ils ont observé une corrélation inverse ($r = -0,65$; $p < 0,01$) entre le temps

moyen d'exécution des sprints répétés lors d'un test et la distance totale parcourue en sprint ($> 25,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) pendant un match de soccer.

Mohr et al. (2003), en utilisant $30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ comme limite inférieure pour considérer un déplacement donné comme un sprint, ont comptabilisé une moyenne de 39 ± 2 sprints de 2 ± 0 s par athlète, par match dans la première division italienne. Dans la ligue danoise, ces auteurs ont comptabilisé une moyenne de 26 ± 1 sprints de $1,9 \pm 0$ s par athlète, par match. Connaissant la durée d'un match, qui est de 90 min, cela permet de prévoir des périodes de récupération moyennes d'environ 2 min et 18 s entre chaque sprint dans la ligue italienne, et de 3 min et 27 s dans la ligue danoise. Dans cette même étude les distances moyennes parcourues en sprint par des attaquants, des défenseurs externes, des milieux et des défenseurs centraux ont correspondu, respectivement, à 690 ± 80 m, 640 ± 60 m, 440 ± 40 m et 440 ± 30 m. En analysant les déplacements des joueurs sud-américains et européens lors d'un match, Rienzi et al. (2000) ont observé des distances parcourues en sprint similaires à celles de l'étude de Mohr et al. (2003). Les déplacements moyens réalisés dans cette intensité par des défenseurs, des milieux et des attaquants ont été, respectivement, de 231 ± 141 m, 316 ± 150 m et 557 ± 288 m dans l'étude de Rienzi et al. (2000). D'après ces auteurs, malgré une proportion réduite du déplacement total pendant une partie (4%), les sprints sont importants puisque souvent effectués dans des moments cruciaux d'un match.

Dans la littérature, l'évaluation de la CRS est exécutée par différents types de tests. Oliver et al. (2009) mentionnent que la vitesse maximale lors d'un seul sprint et le

travail total développé pendant des sprints répétés sont indépendantes du type de test réalisé. D'autre part, la vitesse moyenne et le déclin de vitesse au long de plusieurs sprints sont liés à la fréquence des sprints et à la durée du test utilisé. Buchheit, Cormie, Abbis, Ahmaidi, Nosaka et Laursen (2009) indiquent aussi que l'adoption d'une récupération active ou passive peut influencer les résultats de façon importante. De plus, Stone, Oliver, Hughes, Stemberidge, Newcombe et Meyers (2011) soulignent l'importance de l'intégration des sprints multidirectionnels et répétés aux protocoles de simulation d'un match, en permettant des réponses physiologiques similaires à celles trouvées sur le terrain.

Pour améliorer la CRS, il faut connaître ses déterminants. Le texte qui suit expose certaines études portant sur le métabolisme lors des sprints et, aussi, sur l'association entre certains paramètres physiologiques et la CRS.

Métabolisme musculaire pendant des sprints répétés. Une programmation adéquate d'entraînement de sprints exige la compréhension des demandes bioénergétiques impliquées au cours de cette activité (Rampinini et al. 2007). En examinant le métabolisme musculaire durant des sprints répétés, Gaitanos et al. (1993) et Bogdanis, Nevill, Boobis et Lakomy (1996) ont constaté dans leurs études respectives une contribution importante de la phosphorylcréatine (PCr) comme source d'énergie.

Le comportement de la PCr, un substrat énergétique localisé principalement dans la fibre musculaire, a été vérifié lors d'un exercice dans des études antérieures. Plus

précisément, Harris, Edwards, Hultman, Nordesjö, Nylin et Sahlin (1976) ont observé le temps de resynthèse de la PCr après un exercice qui amène le muscle quadriceps jusqu'à l'épuisement selon trois conditions expérimentales : exercice dynamique, exercice isométrique et exercice isométrique avec occlusion. Les trois interventions ont engendré des réductions similaires de la réserve de PCr, autour de 15% de la valeur de repos. La mi-temps de restauration, 50% de la valeur totale du repos, a été de 22 s après l'exercice dynamique et l'exercice isométrique. Cependant, après l'exercice sous occlusion, maintenue durant la récupération, la resynthèse de la PCr a été complètement interrompue. Cette resynthèse de la PCr a repris seulement après le rétablissement de l'apport sanguin au muscle. Selon Harris et al. (1976), cette interruption de la resynthèse de la PCr serait attribuable à la réduction du pH musculaire, ce qui est en accord avec les observations de Sahlin, Harris et Hultman (1975). L'interruption momentanée du débit sanguin aurait limité la sortie et le tamponnage des ions H^+ qui, par conséquence, auraient déséquilibré la réaction enzymatique de resynthèse de la PCr. Pourtant, l'attribution donnée à l'acidification du milieu, par Sahlin et al. (1975), comme étant responsable de l'arrêt complet de la resynthèse de PCr a été réfutée par ces mêmes chercheurs 4 ans plus tard.

Sahlin, Harris et Hultman (1979) ont également comparé la resynthèse de PCr post épuisement musculaire avec ou sans occlusion du flux sanguin vers les muscles activés. De nouveau, ils ont noté que l'occlusion sanguine du muscle soumis à l'exercice a empêché la resynthèse de PCr post exercice. De plus, ces auteurs ont vérifié que, dans des échantillons musculaires collectés par biopsie à la fin de l'exercice et gardés dans

une atmosphère libre d'oxygène, il n'y a pas eu de restauration du niveau de PCr après 15 min de récupération. À l'inverse, lorsqu'exposés à l'oxygène, la PCr des échantillons musculaires est passée de 4% de la valeur de PCr de repos à 68% de ce niveau après 15 min. D'après ces auteurs, les résultats indiquent que la phase rapide de la restauration de la PCr, estimée à 22s pour une resynthèse de 50% (Harris et al., 1976), est limitée par la disponibilité de l'oxygène. Cependant, la phase lente serait limitée par l'élimination des ions H⁺ du milieu musculaire.

Outre la PCr, Gaitanos et al. (1993) ont remarqué l'implication de la glycogénolyse anaérobie pour l'apport d'énergie lors des sprints répétés. Par exemple, pour le premier sprint d'une série de 10 sprints de 6 s, la PCr a fourni 49,6% de l'énergie de source anaérobie pour la resynthèse de l'ATP et le restant (44,1%) a été fourni, principalement, par la glycogénolyse anaérobie. La lactatémie musculaire après le premier sprint a atteint une valeur de $28,6 \pm 5,7 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ de poids sec, en indiquant une importante activité glycolytique anaérobie. Au dixième sprint, le taux de production d'énergie à partir de sources anaérobies est tombé à 35,6% de la valeur observée lors du premier sprint. En plus, pendant le dixième sprint, 80% de l'énergie de source anaérobie produite a été fournie par la PCr et 16,1%, à partir de la glycogénolyse anaérobie. Malgré la chute importante de production d'énergie par le système anaérobie lactique, la puissance moyenne dans ce dernier sprint correspondait à 73% de celle du premier sprint. Selon Gaitanos et al. (1993), cela suggère que la puissance développée au dernier sprint a été soutenue principalement par la dégradation de la PCr et par l'augmentation du métabolisme aérobie.

Cette hypothèse, évoquée par Gaitanos et al. (1993), est appuyée par l'étude de Bogdanis et al. (1996) qui ont souligné l'importance de la PCr et du système aérobie pendant l'exécution de sprints. Par contre, le nombre de sprints, la durée des sprints et de la récupération entre ces sprints ont été différents dans ces deux études. Précisément, l'étude menée par Bogdanis et al. (1996) a réalisé deux séquences de sprints distinctes. Une séquence avec un premier sprint de 30 s a été suivie par un deuxième sprint de 30 s après 4 min de récupération passive. La deuxième séquence comprenait un premier sprint également de 30 s suivi par un sprint de 10 s après 4 min de récupération passive. Dans les deux séquences, après le premier sprint, la réserve de PCr est tombée à $16,9 \pm 1,4\%$ de la valeur de repos et le pH musculaire est tombé à $6,69 \pm 0,02$. Malgré la chute et le maintien d'une valeur basse de pH ($6,8 \pm 0,03$), après 3,8 min de récupération, la réserve de PCr est revenue à $78,7 \pm 3,3\%$ de la valeur de repos. De plus, même s'il y a eu une réduction d'environ 41% de l'énergie à partir du système anaérobie, la puissance moyenne observée durant les 30 s du deuxième sprint n'a diminué que de 18%. Dans ce cas, une augmentation de la consommation d'oxygène a été constatée au deuxième sprint, en comparaison au premier, $2,68 \pm 0,1$ vs $3,17 \pm 0,13 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$ ($p < 0,01$). D'après Bogdanis et al. (1996), le système aérobie fournit une partie importante de l'énergie pendant le deuxième sprint, environ 49%, tandis que la PCr est importante pour la haute puissance développée dans les 10 secondes initiales.

VO_{2max} et l'exécution de sprints répétés. À mesure qu'un athlète avance dans une série de sprints répétés, sa consommation d'oxygène augmente (Bogdanis et al., 1996; Racinais, Bishop, Denis, Lattier, Mendez-Villanueva et Perrey, 2007). De plus, cette consommation peut être accrue davantage, dépendamment de l'utilisation d'une période de récupération passive ou active (Buchheit et al., 2009). La capacité oxydative musculaire maximale, observée directement dans le tissu musculaire, a été inversement corrélée avec des indices de fatigue pendant un test d'une minute à puissance maximale «*all-out*» et un test de 10 sprints répétés sur cycloergomètre (Thomas, Sirvent, Perrey, Raynaud et Mercier, 2004). Par contre, pour étudier le rôle du système aérobie pendant des sprints répétés, une approche plus globale, l'analyse de la consommation maximale d'oxygène (VO_{2max}), est fréquemment utilisée. Sa contribution à la CRS, n'est cependant pas complètement élucidée dans la littérature.

Chez des joueurs de l'*Australian rules football*, Wadley et Le Rossignol (1998) ont mesuré la relation entre un test de la CRS et les systèmes énergétiques aérobie et anaérobie. Ces sujets âgés d'environ 20 ans ont atteint une moyenne de VO_{2max} équivalente à $59 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$. Pourtant, dans cette étude, il n'y a pas eu de corrélation entre le VO_{2max} et la CRS, déterminée par le temps total de réalisation et par le déclin de performance au long des 12 sprints de 20 m effectués à chaque 20 s. Le déclin de performance, exprimé en pourcentage, est calculé par la formule suivante : $[(\text{temps moyen}/\text{meilleur temps}) \cdot 100] - 100$. En outre, le déficit accumulé d'oxygène (DAO), indicateur du métabolisme anaérobie, n'a pas présenté de corrélation avec la CRS dans cette étude. Par contre, le sprint le plus bref a été corrélé avec le temps total

pour effectuer les sprints ($r = 0,82, p < 0,001$) et avec le déclin de performance ($r = -0,72, p < 0,01$). D'après les auteurs, la première corrélation suggère que le métabolisme de la PCr, principale source d'énergie pendant un effort bref (Gaitanos et al., 1993), est aussi la plus importante source d'énergie pendant un test de CRS. La deuxième corrélation indique que les athlètes qui ont effectué les meilleurs sprints ont présenté les niveaux de fatigue les plus élevés.

Comme dans l'étude de Wadley et al. (1998), Bishop, Lawrence et Spencer (2003) n'ont pas trouvé une corrélation entre le pic du VO₂ et la CRS chez des joueuses de hockey sur gazon. De plus, lors du test de sprints en cycloergomètre le pic de puissance du premier sprint a présenté une corrélation ($r = 0,89; p < 0,05$) avec le déclin de puissance au long de ce test. Tout en corroborant ces résultats, Aziz, Mukherjee, Chia et Teh (2007), n'ont pas constaté une corrélation entre le VO_{2max} mesuré avec un analyseur métabolique et la performance des participants dans un test de sprints répétés. Outre cela, la CRS de ces jeunes athlètes, âgés d'environ 16,5 ans, n'a pas été corrélée à la performance dans un test navette à plusieurs paliers (Ramsbottom, Brewer et Williams, 1988). Ce dernier est conçu pour évaluer la condition physique aérobie, en estimant la consommation d'oxygène sans l'utilisation d'analyseur métabolique.

Malgré l'absence d'association entre le VO_{2max} et la CRS, il est possible d'observer une interaction entre cette capacité et la vitesse minimale pour atteindre la consommation d'oxygène maximale, vVO_{2max}. Par exemple, l'étude de da Silva, Guglielmo et Bishop (2010) a vérifié la relation entre des variables physiologiques liées

à la condition physique aérobie et la CRS chez les joueurs de soccer. Parmi ces variables le VO₂max, la vVO₂max et la vitesse à laquelle on observe une accumulation de lactatémie (vaLa) ont été vérifiées. Dans cette dernière étude, la vaLa a été identifiée comme la vitesse de course à une lactatémie de 3,5 mmol · l⁻¹. Le test de sprints utilisé pour déterminer la CRS a été composé de 7 sprints de 34,2 m entrecoupés de récupérations actives de 25 s. Durant ce test, le temps moyen pour effectuer un sprint, le meilleur temps lors d'un sprint et le déclin de performance ont été mesurés. Les données montrent une corrélation inverse du temps moyen de sprint avec la vaLa ($r = -0,49; p < 0,05$) et avec la vVO₂max ($r = -0,38; p < 0,05$). Aussi, une corrélation du déclin de performance avec la vaLa ($r = -0,54; p < 0,01$), la vVO₂max ($r = -0,49; p < 0,01$) et le VO₂max ($r = -0,39; p < 0,05$) a été dénotée. Même si elles sont significatives, il faut considérer que ces corrélations sont faibles à moyennes. Toutefois, il est intéressant d'observer que la vaLa et la vVO₂max sont davantage corrélées à la CRS que la valeur de VO₂max.

Comme dans à l'étude de da Silva et al. (2010), Rampinini et al. (2007) ont vérifié la validité d'un test de sprints répétés et d'un test progressif maximal sur le terrain comme indicateurs de la performance physique durant un match de soccer. La performance au match a été associée à la distance totale parcourue, la distance parcourue en course de haute intensité ($> 14,4 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), la distance parcourue en course de très haute intensité ($> 19,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), la distance parcourue en sprint ($> 25,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) et la vitesse maximale. En analysant la CRS des athlètes, le temps total pour accomplir le test de sprints s'est montré inversement corrélé avec la distance parcourue en course de très

haute intensité ($r = -0,60, p < 0,01$) et la distance parcourue en sprint pendant des matchs ($r = -0,65, p < 0,01$). En outre, les auteurs ont observé des corrélations entre l'atteinte d'une vitesse maximale au test progressif sur le terrain et la distance totale parcourue ($r = 0,58, p < 0,05$), la distance parcourue en course de haute intensité ($r = 0,65, p < 0,01$) et la distance parcourue en course de très haute intensité ($r = 0,64, p < 0,01$). Selon eux, ces corrélations avec le test progressif suggèrent que la capacité de couvrir de longues distances à des vitesses élevées est liée à une puissance aérobie élevée. Néanmoins, ils soulignent que ces corrélations doivent être considérées avec prudence, de par leurs valeurs modérées, ce qui pourrait limiter l'utilisation du test de consommation maximale d'oxygène comme prédicteur de performance. Il est plutôt suggéré d'entraîner la cinétique de la VO₂max pour améliorer la CRS (Rampinini et al., 2007).

Lactatémie, pH intramusculaire et l'exécution de sprints répétés. En dépit des controverses dans la littérature, la lactatémie reste encore un bon marqueur indirect des conditions métaboliques de la cellule musculaire qui conduisent à l'acidose (Roberts, Ghiasvand et Parker, 2004). Il est maintenant reconnu que la réduction de l'acidose est possible en présence d'une lactatémie élevée par l'action de tamponnage des ions H⁺. Lors d'un exercice maximal, cela permet à la glycolyse anaérobie de continuer, résultant en une plus grande lactatémie sans augmenter l'accumulation de H⁺ dans le sang (Edge, Bishop, Hill-Haas, Dawson et Goodman, 2006).

Précisément, dans l'étude de Edge et al. (2006), une capacité accrue du système tampon a été démontrée chez des femmes pratiquant des sports d'équipe en comparaison à celles pratiquant des sports d'endurance ou non-entraînées. Après un test de sprints, malgré une lactatémie plus élevée que chez les groupes entraînés en endurance et non-entraînés, les athlètes de sports d'équipe ont présenté des valeurs de pH sanguin similaires aux deux autres groupes. Dans ce test de sprints, comprenant 5 sprints de 6 s sur cycloergomètre entrecoupés d'intervalles de 24 s, le groupe pratiquant des sports d'équipe a développé un plus grand travail, en absolu (kJ) et en relatif ($\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$). L'analyse des données a montré une corrélation significative entre le travail total réalisé et la capacité de tamponnage des ions H^+ au muscle ($r = 0,67$; $p < 0,05$). D'après les auteurs, ceci représente une meilleure adaptation aux efforts intermittents de haute intensité auxquels ces athlètes sont soumises pendant des entraînements et des matchs. Cette hypothèse est renforcée par l'étude de Juel, Klarskov, Nielsen, Krstrup, Mohr et Bangsbo (2004) qui ont observé une amélioration de la capacité d'éliminer le lactate et les ions H^+ du muscle squelettique après une période de 8 semaines d'entraînement d'intensité supra-maximale. Cette évolution a été accompagnée par des changements au niveau cellulaire, avec une augmentation des transporteurs monocarboxylates (MCT1), responsables du transport de lactate, et d'échangeurs Na^+/H^+ .

Bishop et al. (2003), en se servant du même test de sprints de l'étude de Edge et al. (2006), ont remarqué une corrélation entre la capacité de tamponnage, estimée par le ratio entre la variation de $[\text{La}]$ et de $[\text{H}^+]$, et le déclin de performance dans ce test ($r = -0,69$, $p < 0,05$). Aussi, ils ont trouvé une corrélation entre le déclin de performance et la

$[H^+]$ sanguine, $r = 0,63$, $p < 0,05$. Possiblement, des individus avec une production plus élevée de lactate sans une concomitante accumulation élevée d'ions H^+ ont une meilleure régulation des ions H^+ et, conséquemment, une meilleure performance.

Oxygénéation musculaire, saturation artérielle en oxygène et l'exécution de sprints répétés. Outre l'interaction de la capacité d'effectuer des sprints répétés avec le VO_2 , la lactatémie et le pH intramusculaire, cette capacité peut interagir avec l'oxygénéation musculaire et la saturation artérielle en oxygène (SpO_2). Ces deux derniers paramètres indiquent, respectivement, la concentration localisée d'oxygène dans le muscle en action et la concentration systémique d'oxygène. Mesurée par spectroscopie dans le proche infrarouge (NIRS), l'oxygénéation dans l'environnement des fibres musculaires en action est déterminée par la concentration d'oxyhémoglobine [O_2Hb], de désoxyhémoglobine [HHb], et par la concentration totale d'hémoglobine [THb]. D'autre part, la SpO_2 est quantifiée à travers l'oxymétrie de pouls et déterminée par le pourcentage d'hémoglobine saturée, liée à des molécules d'oxygène.

L'étude de l'oxygénéation musculaire lors de sprints répétés est assez récente. L'exécution d'un sprint de 6 s sur cycloergomètre peut augmenter de $21,34 \pm 1,56 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$ la [HHb] musculaire, ce qui correspond approximativement à 120% de la valeur préexercice (Racinais et al., 2007). Ce taux d'incrément de la [HHb] reste constant pendant une série de 10 sprints entrecoupés de récupérations passives de 30 s. Cela suggère que la capacité musculaire d'utiliser l' O_2 disponible est préservée après chaque

sprint. Cependant, cette récupération se montre insuffisante pour retourner la [HHb] à la valeur initiale du sprint précédent. Cette récupération incomplète engendre une augmentation de la [HHb] tout au long du test. Outre cela, la désoxygénéation musculaire induite par des efforts maximaux répétés peut être accentuée par l'application d'intervalles actifs entre de tels efforts (Buchheit et al., 2009). Lors d'une série de 6 sprints de 4 s en course à pied, séparés par 21 s de récupération passive, la [HHb] musculaire atteint une valeur moyenne de $83,4 \pm 4,8\%$ au-dessus de celle en préexercice. D'autre part, la récupération active à $7,2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ provoque une augmentation moyenne de $94,4 \pm 16,8\% (p < 0,02)$ de la valeur préexercice. Cette différence est dérivée des valeurs plus élevées de la [HHb] à la fin des sprints et d'une réduction moins importante durant la récupération, lors de la série avec des intervalles actifs.

L'hypoxémie induite par l'exercice, caractérisée par la réduction de la SpO₂, peut contribuer à la fatigue musculaire pendant un exercice en normoxie, quand la fraction inspirée d'oxygène (FiO₂) correspond à 0,21 (Romer, Haverkamp, Lovering, Pegelow et Dempsey, 2006). Par exemple, en pédalant à 90% du pic de VO₂ jusqu'à l'épuisement, une durée d'environ $13,2 \pm 0,8$ min, la SpO₂ peut diminuer en moyenne de $97,7 \pm 0,1\%$ au repos à $91,9 \pm 0,9\%$ à la fin de l'exercice. Cette altération est attribuable à une réduction du pH sanguin, de 7,42 à 7,18, et à l'augmentation de la température corporelle, de 36,8 à 38,9 °C. Ce type d'exercice a réduit de 33% la capacité contractile du muscle lors d'une électrostimulation en normoxie. Pourtant, après l'exécution de l'exercice en présence d'une concentration d'oxygène plus élevée (FiO₂ de 0,27), ce qui

maintient la SpO₂ des individus à 98%, la capacité contractile lors d'une électrostimulation a été diminuée juste de 15%. Comme l'électrostimulation a été égale dans les deux conditions, la diminution plus importante de la contractilité après le test en normoxie (FiO₂ de 0,21) indique que la désaturation artérielle dans cette condition peut avoir contribué à la fatigue par un mécanisme qui implique plus la périphérie que le système central (Romer et al., 2006).

De façon similaire, la réponse de l'oxygénation cérébrale (cortex préfrontal) et de l'oxygénation musculaire lors d'un test de sprints peut varier en fonction de la concentration d'oxygène disponible au moment de l'effort (Smith et Billaut, 2010). Durant un test de 10 sprints de 10 s entrecoupés d'intervalles de 30 s, en condition d'hypoxie (FiO₂ de 0,13) il y a eu une diminution de la SpO₂ de 11,6% plus élevée qu'en normoxie (FiO₂ de 0,21). Aussi, les auteurs ont observé une différence de 7,6% entre le travail total produit en hypoxie et en normoxie, respectivement de $62,1 \pm 5,4$ kJ vs $67,12 \pm 5,5$ kJ ($p < 0,05$). Dans la condition de normoxie, aucune évidence de désoxygénéation cérébrale n'a été observée, étant donné l'égalité entre l'incrément de la [O₂Hb] et de la [HHb]. Néanmoins, l'hypoxie a occasionné une désoxygénéation cérébrale progressive, en exhibant le maintien de la [O₂Hb] et l'augmentation de la [HHb] tout au long du test. Au niveau du tissu musculaire, les deux conditions, hypoxie et normoxie, ont causé des désoxygénations d'amplitudes égales. Selon les chercheurs, les résultats indiquent que la disponibilité de l'oxygène influence l'oxygénation préfrontale, mais non l'oxygénation musculaire durant des sprints répétés. De plus, dans

une condition d'hypoxie, la réduction de l'oxygénation cérébrale contribuerait à diminuer la CRS.

CHAPITRE III

PROBLÉMATIQUE

Des études qui ont analysé les demandes physiques d'un match de soccer montrent que les caractéristiques de déplacement peuvent varier en fonction des positions des joueurs, de la période du match et, même, de la ligue dans laquelle le match est disputé. Outre l'observation de la distance totale parcourue par les joueurs, les différentes intensités développées et leurs fréquences lors d'un match ont été déterminées. Malgré leur brève durée et leur basse fréquence pendant un match, les sprints sont fondamentaux dans des moments décisifs du match (Rienzi et al., 2000).

Mohr et al. (2003) ont observé, chez les hommes, une moyenne de 39 ± 2 sprints ($\geq 30 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) de 2 ± 0 s par athlète, par match dans la ligue italienne. Dans la ligue danoise, ces auteurs ont observé une moyenne de 26 ± 1 sprints de $1,9 \pm 0$ s par athlète, par match. Cela correspond à la fréquence moyenne d'un sprint à chaque 2 min et 18 s dans la ligue italienne, et à chaque 3 min et 27s dans la ligue danoise. Dans une autre recherche, Mohr et al. (2008) ont observé une moyenne de 30 ± 2 sprints ($\geq 25 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) par athlète, par match dans la ligue nord-américaine de soccer féminin et de 26 ± 1 sprints par athlète, par match chez des joueuses de soccer des ligues danoise et suédoise. Cela correspond à la fréquence d'un sprint à chaque 3 min dans la ligue nord-américaine, et à chaque 3 min et 27s dans les ligues danoise et suédoise. En Angleterre,

Bradley et al. (2009) ont trouvé, chez les hommes, une période moyenne de 72 ± 28 s entre des déplacements à haute intensité ($> 19,8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) par les joueurs. Dans ces deux études, les périodes entre des sprints ont été composées par des courses d'intensités variées et par quelques instants d'arrêt. Cependant, lors de l'analyse de la capacité d'effectuer des sprints répétés chez les joueurs de soccer, plusieurs études n'ont pas utilisé le ratio entre l'effort et la récupération observé sur le terrain. En général, des tests de sprints répétés sont séparés par de brèves périodes de récupération passive, d'environ 20 s, ce qui est différent du profil de déplacement durant un match. Donc, il est possible que les relations entre les paramètres physiologiques et la CRS chez les joueurs de soccer, identifiées jusqu'à maintenant, soient différentes lors d'un test de sprints similaire aux demandes d'un match.

Ainsi, une étude comparant la performance dans un test de sprints entrecoupés de brèves périodes (20 s) de récupération passive, avec la performance dans un test de sprints entrecoupés de longues périodes (3 min) de récupération active, semblables à un match réel, pourrait contribuer à déterminer s'il y a des différences importantes entre ces deux tests. Précisément, les différences sont examinées à travers une analyse des relations entre la performance aux tests et certains aspects physiologiques, comme le $\text{VO}_{2\text{max}}$, la vitesse minimale pour atteindre le $\text{VO}_{2\text{max}}$, la vitesse à laquelle on observe une accumulation de La et l'oxygénation musculaire. Cela peut aider à identifier des aspects qui doivent être considérés lors d'un entraînement qui cible l'amélioration de la CRS chez les joueurs de soccer.

CHAPITRE IV

OBJECTIFS

Question de recherche 1 : Est-ce qu'il y a des différences dans le temps moyen d'exécution d'un sprint et dans le déclin de performance ($\left[\frac{\text{temps moyen}}{\text{meilleur temps}} \cdot 100 \right] - 100$), entre un test de sprints entrecoupés de brèves périodes de récupération passive (SBP), et un test de sprints entrecoupés de longues périodes de récupération active (SLA)? Ce dernier test est plus représentatif d'une situation de match, respectant ainsi le principe physiologique de spécificité puisque rarement un joueur de soccer s'arrête totalement entre 2 sprints.

Question de recherche 2 : Est-ce que les performances respectives aux deux tests sont corrélées différemment avec des paramètres physiologiques comme le VO₂max, la vVO₂max, la vaLa et l'oxygénéation musculaire?

CHAPITRE V

HYPOTHÈSES

La première hypothèse soulevée est que le test de SLA va amener une augmentation du temps moyen d'exécution d'un sprint et un déclin de performance supérieur en comparaison au test de SBP.

La deuxième hypothèse est que le test de SLA démontrera des corrélations plus élevées, comparées au test SBP, entre la performance et plusieurs paramètres physiologiques (VO_2max , vVO_2max , vaLa et l'oxygénation musculaire).

La troisième hypothèse est que le test SLA occasionnera une extraction de l'oxygène musculaire plus élevée en comparaison au test de SBP.

CHAPITRE VI

MÉTHODOLOGIE

Participants. L'échantillon de cette étude a été formé de onze joueuses de soccer et d'une coureuse de cross-country de niveau universitaire ($n = 12$). Comme critères d'inclusion, on a établi l'âge minimum de 18 ans et d'être engagé à l'entraînement régulier au moins trois fois par semaine. Lors du premier test, les participantes ont dû d'abord remplir la fiche d'information du participant et le Questionnaire d'Aptitude à l'Activité Physique (Q-AAP) afin de s'assurer qu'elles ne présentaient pas de contre-indication à exécuter les tests. Ensuite, les participantes ont rempli un formulaire de consentement qui expliquait le but du projet, les procédures des tests et les risques et bienfaits potentiels liés à la participation au projet.

Précisément, cette étude était composée de trois tests principaux : un test de vitesse aérobie maximale (VAM); un test de sprints entrecoupés de brèves périodes de récupération passive (SBP); et un test de sprints entrecoupés de longues périodes de récupération active (SLA). Le test de VAM a été réalisé en premier. Ensuite il a été effectué un contrebancement des séances des tests de SLA et de SBP à travers les 12 participantes, 6 dans l'ordre SLA-SBP et 6 dans l'ordre inverse. Entre chaque test il a été respecté un intervalle d'au moins 24 h. Une mesure commune aux trois tests a été l'estimation de la consommation d'oxygène et du volume sanguin périphérique du

muscle *vastus lateralis* par spectroscopie dans le proche infrarouge (*near infrared spectroscopy*; NIRS). Le NIRS a été installé avant chaque test sur le muscle *vastus lateralis* à mi-chemin entre le grand trochanter du fémur et le bord supérieur de la rotule du genou. Cet équipement a été fixé sur la peau avec du ruban adhésif médical (Hypafix, BSN Medical) et stabilisé dans cette position à l'aide d'une bande élastique de contention autour de la cuisse. Spécifiquement, le NIRS envoie de la lumière infrarouge à travers les tissus qui est partiellement absorbée selon que l'hémoglobine est saturée ou pas en oxygène. La discrimination entre la quantité de lumière absorbée par l'oxyhémoglobine (O_2Hb) et par la désoxyhémoglobine (HHb) dépend de la longueur de l'onde infrarouge captée par l'appareil. Cela permet d'identifier et de déterminer la concentration d' O_2Hb et de HHb contenue dans l'environnement du muscle en plus d'apprécier le débit sanguin par l'addition des deux variables ($O_2Hb + HHb$) de façon non invasive. Cette dernière variable correspondant à la concentration totale d'hémoglobine (THb).

Test de VAM. Ce test a été conduit en laboratoire à l'aide d'un tapis roulant et d'un analyseur métabolique (Moxus, AEI Technologies, Pittsburgh, PA). D'abord les participantes ont été mesurées pour la taille et la masse corporelle. Ensuite, on a procédé à l'installation du spectromètre (NIRS) et d'un cardiofréquencemètre (Polar Electro Oy FT1, Finlande) qui transmet la fréquence cardiaque à l'analyseur métabolique. Ensuite, les participantes ont effectué un échauffement sur le tapis roulant de 5 à 10 min, à $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Le test de VAM débutait à une vitesse de $8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ et un gradient de 1%. Progressivement, la vitesse a été augmentée de $1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ à chaque 3 min sans modifier le gradient de pente. Le test se terminait lors que la participante atteignait l'épuisement, tout en la laissant libre d'arrêter le test à tout moment. De plus, à la fin de chaque palier de vitesse, une goutte de sang était prélevée à l'aide d'un autopiqueur (Accu-Chek Softclick, Suisse) pour la mesure de la lactatémie, effectuée par un analyseur de lactate portatif (Lactate Pro Arkray, Japon).

Test de SBP. Le test a été réalisé à l'intérieur d'un gymnase sur plancher synthétique. Il était composé de 6 sprints de 20 m, entrecoupés de périodes de récupération passive de 20 s de durée. Le parcours de 20 m a été en ligne droite avec des lignes de départ/arrivée, larges de 1,5 m (rubans adhésifs) collées au plancher. À chaque extrémité de ces délimitations ont été placés des trépieds avec des cellules photoélectriques commandant l'activation et l'arrêt du chronomètre qui prenait le temps des sprints. À l'extérieur des 20 m et à 40 cm des lignes de départ/arrivée a été placée une ligne parallèle de 1,5 m pour marquer le lieu d'attente avant les départs. Lorsque la participante était arrivée pour son test, on installait le spectromètre (NIRS). Ensuite, la participante débutait son échauffement, d'une durée de 10 min, composé par de jogging et de trois sprints maximaux. Après l'échauffement, la participante réalisait une récupération passive de 3 min.

La récupération terminée, le test SBP pouvait débuter. Debout sur la ligne de départ, le participant recevait l'indication du temps restant avant le départ par un

chronomètre affiché sur un écran à côté du parcours. Les dernières 5 s, d'un total de 20 s de compte à rebours, ont été accompagnées par des bips pour augmenter l'attention du participant avant le départ. L'autorisation pour le départ était signalée par «go» sur l'écran et verbalement par un assistant. Le chronomètre indiquant le temps de récupération, qui incluait le temps de retour au point de départ, était déclenché manuellement après chaque sprint. Le test finissait après l'exécution du sixième sprint. À ce moment une goutte de sang était prélevée pour la mesure de lactate.

Test de SLA. Ce test a été réalisé dans le même endroit où avait lieu le test de SBP, avec un parcours identique. Par contre, les 6 sprints de 20 m ont été séparés par des périodes de récupération active avec une durée d'approximativement 2 min et 45 s. Basés sur les caractéristiques de déplacement sur le terrain observées par Mohr et al. (2008), les participants ont effectué 100 m de marche ($6 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), 80 m de jogging léger ($8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), 80 m de jogging ($10,3 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$), 80 m de course ($13,1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) et 40 m de course à haute vitesse ($16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) durant ces périodes. La distribution de ces efforts est présentée dans la Figure 1.

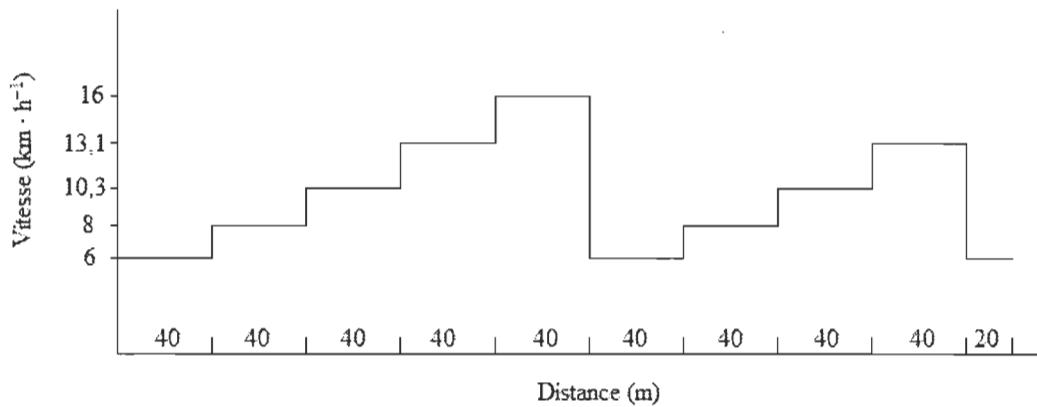


Figure 1. Distances et vitesses déployées durant la période de récupération active du test de SLA.

Comme lors du test de SBP, une fois que la participante arrivait au gymnase, l'installation du spectromètre (NIRS) était effectuée. Par la suite, pendant son échauffement de 10 min, la participante était familiarisée aux variations de vitesse qui componaient les périodes de récupération actives. Plus précisément, lors des tests, la participante devait réaliser ses périodes de récupération active en exécutant des allers-retours sur le même parcours de 20 m, comme démontré à la Figure 1. Les vitesses étaient indiquées à la participante par des bips. Un enregistrement a été programmé à l'aide d'un logiciel d'édition sonore (Free Audio Editor) de façon à ce qu'un bip corresponde à une distance parcourue de 4 m. Des lignes ont été placées à chaque 4 m pour signaler le point du parcours que la participante devait atteindre à chaque bip. Par exemple, pour indiquer $13,1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, ce qui correspond à $3,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, il fallait un intervalle de 1,1 s entre les bips. D'autre part, pour la vitesse de $16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, égale à $4,44 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, l'intervalle entre les bips était de 900 millisecondes. Outre ces bips indicateurs

du rythme, les moments où la participante devait atteindre l'extrémité du parcours de 20 m ont été signalés par des bips légèrement plus longs. Les changements de vitesse ont été indiqués par trois bips brefs et par information verbale. Après un échauffement égal à celui du test de SBP, la participante a réalisé une récupération passive de 3 min.

Après la récupération, la participante se positionnait sur la ligne d'attente pour commencer le test. Comme dans le test de SBP, la participante recevait l'indication du temps restant avant le départ par un chronomètre affiché sur un écran à côté du parcours. Après chaque sprint, le chronomètre indiquant les 2 min et 45 s de récupération, et synchronisé avec les bips indicateurs de rythme, a été déclenché manuellement. Le test finissait après l'exécution du sixième sprint. À ce moment une goutte de sang capillaire a été prélevée sur un doigt de la participante pour la mesure de lactate.

Analyse statistique. L'analyse statistique a été faite à l'aide du logiciel SPSS Statistics 17 pour PC (Chicago, IL). Un test t pour des échantillons appariés a été utilisé pour comparer les variables dépendantes des tests de SLA et de SBP : temps moyen d'exécution d'un sprint, meilleur temps d'exécution d'un sprint et déclin de performance. En plus, un test t pour des échantillons appariés a été utilisé pour comparer les variables $\Delta[\text{HHb}]$ moyen, $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ moyen et $\Delta[\text{THb}]$ moyen au moment pré et post sprint aux tests de SLA et de SBP. Un test d'ANOVA à mesures répétées mixte a été utilisé pour évaluer les effets du facteur «moment» (sprints), du facteur «type de récupération» (SLA et SBP), et de l'interaction des facteurs «moment x type de

récupération» sur la variable dépendante, temps d'exécution d'un sprint. Un test d'ANOVA à mesures répétées simple a été utilisé pour comparer les moyennes de la variable temps d'exécution d'un sprint aux différents sprints de chaque test (SLA ou SBP). Un ajustement des comparaisons multiples Bonferroni a été appliqué pour déterminer les différences significatives. De plus, le test de coefficient de corrélation de Pearson a été utilisé pour déterminer les relations entre les variables. Le niveau de signification a été déterminé à $p < 0,05$.

CHAPITRE VII

RÉSULTATS

Les caractéristiques anthropométriques et physiologiques des participantes sont présentées au Tableau 2. L'âge, la taille, la masse corporelle, la consommation d'oxygène maximale ($\text{VO}_{2\text{max}}$), la vitesse minimale pour atteindre le $\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{vVO}_{2\text{max}}$) et la vitesse à laquelle on observe une accumulation de lactate (vaLA) sont indiquées en moyennes \pm écart-types.

Tableau 2. Caractéristiques anthropométriques et physiologiques des participantes

Âge (ans)	Taille (cm)	Masse Corporelle (kg)	$\text{VO}_{2\text{max}}$ ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\text{vVO}_{2\text{max}}$ ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)	vaLA ($\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$)
$22,5 \pm 2,7$	166 ± 4	$57,1 \pm 5,6$	$46,7 \pm 4,5$	$13,6 \pm 0,7$	$11,5 \pm 0,6$

Valeurs en moyennes \pm écart-types (n = 12).

Les indicateurs de performance (temps moyen des sprints, meilleur temps de sprint et déclin de performance) aux deux tests de sprints sont présentés au Tableau 3.

Tableau 3. Résultats des tests de sprints entrecoupés de longues périodes de récupération active (SLA) et de sprints entrecoupés de brèves périodes de récupération passive (SBP)

	Temps moyen (s)	Meilleur temps (s)	Déclin de performance (%)
SLA	$3,57 \pm 0,12$	$3,49 \pm 0,14$	$2,1 \pm 1,0$
SBP	$3,59 \pm 0,15$	$3,48 \pm 0,15$	$3,0 \pm 1,0 *$

Déclin de performance : $[(\text{temps moyen}/\text{meilleur temps}) \cdot 100] - 100$. Valeurs en moyennes \pm écart-types ($n = 12$). * Valeur significativement plus élevée ($p < 0,01$).

Le temps moyen d'exécution de chaque sprint des deux tests est présenté à la Figure 2. Il n'y a pas eu d'effet significatif du facteur «type de récupération» (SLA et SBP) sur le temps moyen d'exécution d'un sprint.

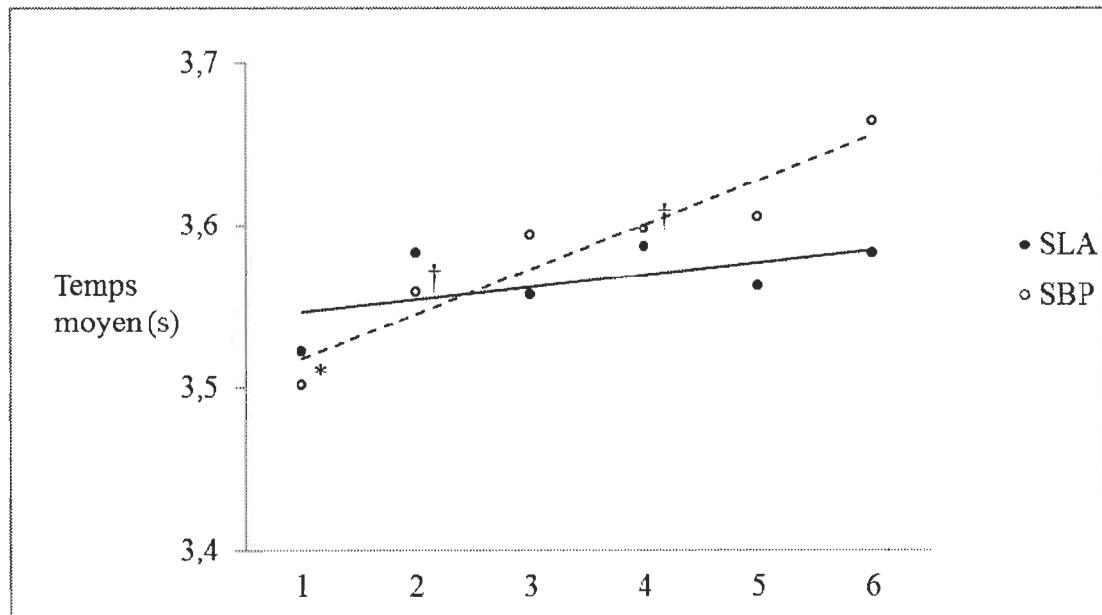


Figure 2. Temps moyen d'exécution de chaque sprint de 20 m aux tests de SLA et de SBP. *Plus bref que tous les sprints du test de SBP, sauf le sprint 5; †Plus brefs que le sprint 6 du test de SBP ($p < 0,05$).

Il y a eu un effet significatif du facteur «moment» (sprints) et de l'interaction des facteurs «moment x type de récupération» sur le temps moyen d'exécution d'un sprint ($p < 0,01$). La composante linéaire de cette interaction ($ddl = 1$; $CM = 0,041$; $F = 8,324$; $p = 0,015$) indique que le test de SBP a entraîné une dérive du temps d'exécution d'un sprint plus importante que le test de SLA, comme le montre la Figure 2.

Les résultats des corrélations entre les paramètres physiologiques (VO_2max , vVO_2max et vaLA) et les indicateurs de performance aux tests de SLA et de SBP sont présentés au Tableau 4. Par rapport aux paramètres physiologiques, il y a eu une corrélation inverse significative entre le VO_2max et le temps moyen d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52$, $p = 0,04$) et aussi entre le VO_2max et le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52$, $p = 0,04$). D'autre part, il y a eu des corrélations significatives entre le temps moyen et le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = 0,96$, $p = 0,001$); entre le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SLA et le déclin de performance au test de SLA ($r = -0,61$, $p = 0,02$); entre le temps moyen d'exécution d'un sprint au test de SLA et le temps moyen d'exécution d'un sprint au test de SBP ($r = 0,80$, $p = 0,001$); entre le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SLA et le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SBP ($r = 0,84$, $p = 0,001$); entre le temps moyen et le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SBP ($r = 0,97$, $p = 0,001$).

Tableau 4. Résultats des corrélations de Pearson entre les indicateurs de performance aux tests de SLA et de SBP, et certains paramètres physiologiques

	T _{MoyenSLA}	Meil _{TempsSLA}	Déclin _{SLA}	T _{MoyenSBP}	Meil _{TempsSBP}	Déclin _{SBP}
VO ₂ max	r = - 0,52 *	r = - 0,52 *	r = 0,24	r = - 0,37	r = - 0,39	r = 0,15
vVO ₂ max	r = - 0,2	r = - 0,17	r = - 0,03	r = 0,04	r = 0,01	r = 0,11
vaLA	r = 0,01	r = - 0,06	r = 0,25	r = 0,31	r = 0,2	r = 0,4
T _{MoyenSLA}		r = 0,96 **	r = - 0,38	r = 0,8 **		
Meil _{TempsSLA}			r = - 0,61 *		r = 0,84 **	
T _{MoyenSBP}					r = 0,97 **	r = - 0,06
Meil _{TempsSBP}						r = - 0,29

T_{MoyenSLA}: temps moyen au test de SLA; Meil_{TempsSLA}: meilleur temps au test de SLA; Déclin_{SLA}: déclin de performance au test de SLA; T_{MoyenSBP}: temps moyen au test de SBP; Meil_{TempsSBP}: meilleur temps au test de SBP; Déclin_{SBP}: déclin de performance au test de SBP; * p < 0,05, ** p < 0,01.

Oxygénation musculaire lors des tests de SLA et de SBP

L'évolution de la concentration de désoxyhémoglobine ($\Delta[\text{HHb}]$), d'oxyhémoglobine ($\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$) et de la quantité totale d'hémoglobine ($\Delta[\text{THb}]$) est présentée dans les Figures 3, 4 et 5 respectivement.

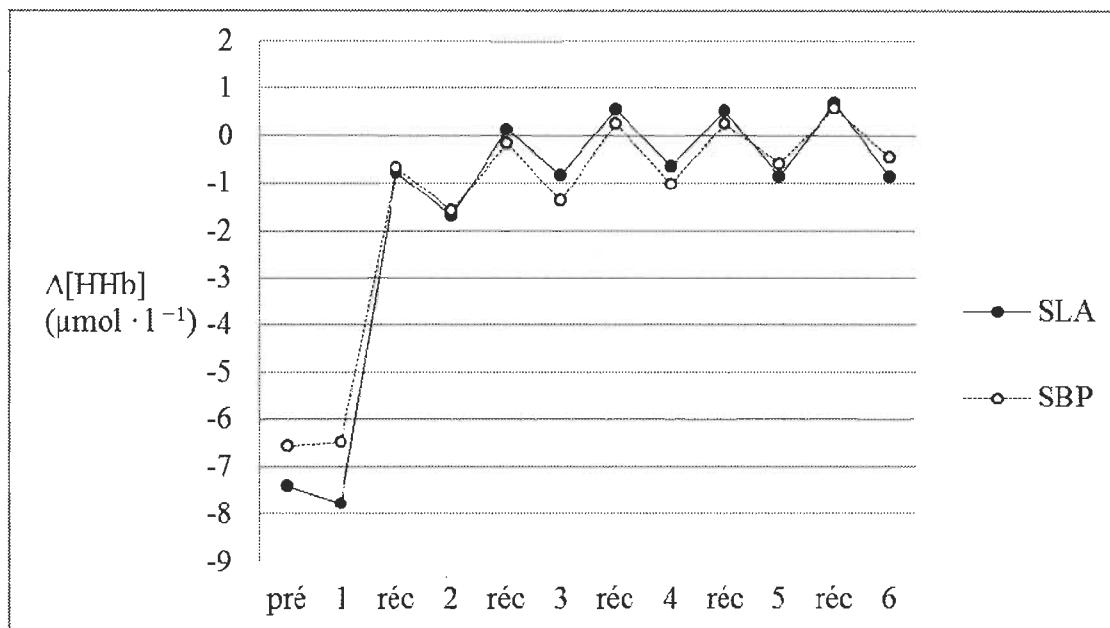


Figure 3. Évolution de la concentration de désoxyhémoglobine ($\Delta[\text{HHb}]$) dans le muscle *vastus lateralis* par rapport à la valeur de repos.

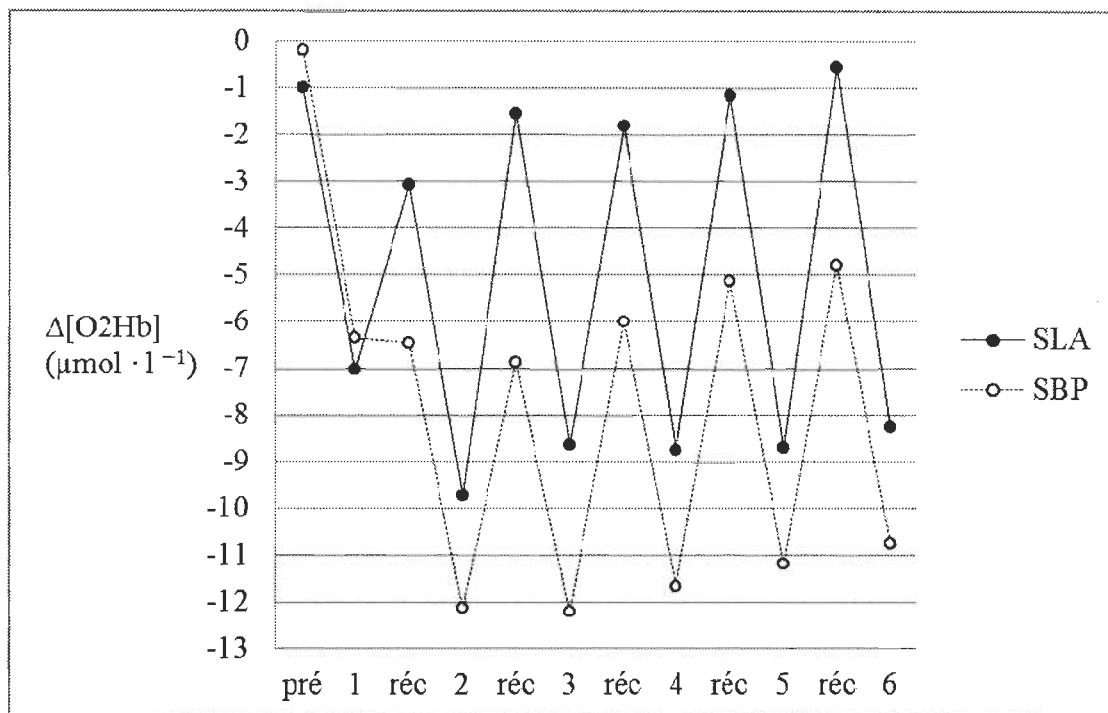


Figure 4. Évolution de la concentration d'oxyhémoglobine ($\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$) dans le muscle *vastus lateralis* par rapport à la valeur de repos.

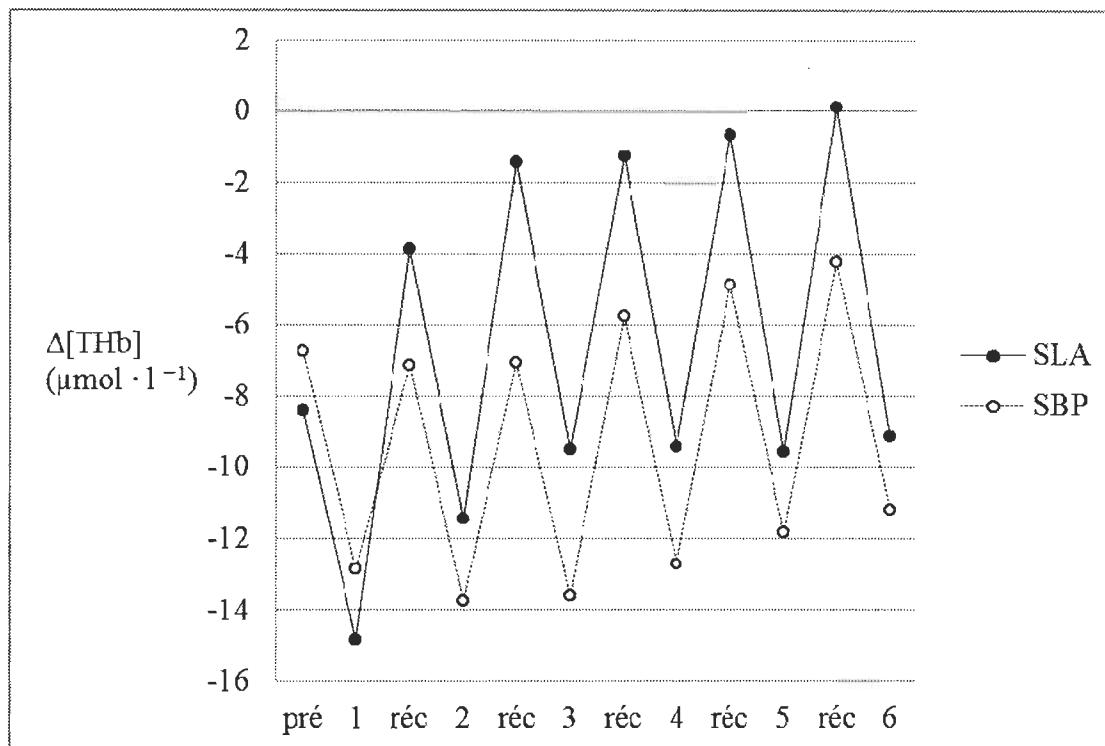


Figure 5. Évolution de la concentration de la quantité totale d'hémoglobine ($\Delta[\text{THb}]$) dans le muscle *vastus lateralis* par rapport à la valeur de repos.

La valeur moyenne globale et la variation moyenne par sprint du $\Delta[\text{HHb}]$, du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et du $\Delta[\text{THb}]$ lors des tests de SLA et de SBP sont présentées au Tableau 5. Il y a eu une variation moyenne significative par sprint de ces 3 variables dans les deux tests ($p < 0,01$).

Tableau 5. Valeurs du $\Delta[\text{HHb}]$, du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et du $\Delta[\text{THb}]$ durant les tests de SLA et de SBP

	$\Delta[\text{HHb}] (\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1})$	$\Delta[\text{O}_2\text{Hb}] (\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1})$	$\Delta[\text{THb}] (\mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1})$
Moyenne globale			
SLA	$-1,06 \pm 4,64$	$-5,40 \pm 4,61^*$	$-6,45 \pm 6,07$
SBP	$-1,02 \pm 3,92$	$-8,51 \pm 3,95$	$-9,53 \pm 4,56$
Variation moyenne par sprint			
SLA	$-1,06 \pm 0,76$	$-7,00 \pm 2,51^*$	$-8,06 \pm 2,88^*$
SBP	$-0,88 \pm 0,77$	$-5,81 \pm 2,65$	$-6,69 \pm 2,93$

Valeurs en moyennes \pm écart-types ($n = 12$). *Significativement différent de la valeur du test SBP ($p < 0,05$).

CHAPITRE VIII

DISCUSSION

L'objectif de cette recherche était de comparer deux tests qui mesuraient la capacité à répéter des sprints (CRS) chez des joueuses de soccer. À notre connaissance, un échantillon formé d'une population féminine lors de la comparaison de deux tests de sprints au soccer est tout à fait nouveau. Un des tests (SBP) a été basé sur plusieurs tests qui ont utilisé des sprints entrecoupés de brèves périodes de récupération passive (Aziz et al., 2007, Buchheit et al., 2009, Da Silva et al., 2010, Edge et al., 2005). Ce test était composé de 6 sprints de 20 m chacun entrecoupés de 20 s de récupération passive. Notre test, avec des sprints entrecoupés de longues périodes (2 min et 45 s) de récupération active (SLA), a été conçu pour être plus représentatif du ratio d'effort observé dans une situation de match. Il a été basé sur les distances parcourues et leurs respectives intensités trouvées chez des joueuses de soccer par Mohr et al. (2008).

Par rapport à la performance (Tableau 3), il n'y a pas eu une différence significative dans les temps moyens d'exécution d'un sprint entre les tests de SLA et de SBP. Par contre, il y a eu un déclin de performance supérieur au test de SBP en comparaison au test de SLA. Ce déclin est indiqué par une dérive du temps moyen d'exécution d'un sprint plus importante au test de SBP qu'au test de SLA (Figure 2). Notre hypothèse initiale, infirmée par nos résultats, était que des périodes de récupération active provoqueraient une augmentation du temps moyen d'exécution d'un sprint et du déclin de performance en comparaison à l'utilisation des périodes de

récupération passive, comme il a été observé par Buchheit et al. (2009). Ces auteurs ont comparé un test de 6 sprints de 4 s de durée entrecoupés par des périodes de récupération passive de 21 s avec un autre test de 6 sprints de 4 s de durée entrecoupés par des périodes de récupération active ($2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) de 21 s. Dans cette étude de Buchheit et al. (2009), le test avec des périodes de récupération active a engendré une diminution de performance plus importante que le test avec des périodes de récupération passive, observée par le développement d'une vitesse moyenne plus petite et par un déclin de performance supérieur. Dans notre étude, avec l'utilisation de périodes de récupération active plus longues que dans la recherche de Buchheit et al. (2009), cela n'a pas diminué la performance au test de SLA en comparaison au test de SBP. De plus, il n'y a pas eu de différences significatives du temps moyen d'exécution d'un sprint du premier au sixième sprint du test de SLA (Figure 2). Il est possible que ce maintien de la performance tout au long du test de SLA soit déterminé par l'interaction entre la durée de récupération et le rétablissement des réserves énergétiques associées à l'exécution d'un sprint. Gaitanos et al. (1993) ont démontré une participation importante du système anaérobie comme source d'énergie lors d'un sprint. Au premier sprint d'une série de 10 sprints de 6 s de durée entrecoupés par 30 s de récupération passive, 93,7% de l'énergie totale dépensée a été fournie par le système anaérobie (49,6% par la PCr, et 44,1% par la glycogénolyse anaérobie). Au dixième sprint, la production anaérobie d'ATP a été réduite à 35,4% de la valeur observée au premier sprint, et la puissance moyenne est tombée à 73% de celle développée au premier sprint. Selon ces auteurs, cela suggère une augmentation de la contribution du métabolisme aérobie, ce qui a évité une chute plus

importante de la puissance moyenne à la fin du test. Dans notre test de SLA, il est possible que les durées d'effort plus brèves (de 3,2 s à 3,86 s vs 6 s) et de récupération plus longues (2 min et 45 s vs 30 s) aient facilité le rétablissement énergétique en comparaison à l'étude de Gaitanos et al. (1993). Conséquemment, la performance au test de SLA n'est pas tombée comme il a été attendu.

Relativement aux paramètres physiologiques, notre hypothèse était que le VO_{2max}, la vVO_{2max} et la vaLa montreraient une corrélation significative avec la performance au test de SLA. Comme il a été démontré par d'autres études (Bogdanis et al., 1996, Racinais et al., 2007), la participation du système aérobie comme source d'énergie augmente à la mesure qu'un test de sprints répétés se poursuit. Donc, il a été considéré que des périodes de récupération plus longues et une surcharge du système anaérobie avec une intensité supra-maximale ($16 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$) pendant une partie de ces périodes au test de SLA pourrait accélérer l'utilisation du système aérobie. Ainsi, des corrélations de la performance au test de SLA avec des paramètres liés au conditionnement aérobie étaient attendues. Effectivement, juste le VO_{2max} a montré une corrélation inverse significative avec le temps moyen d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52, p = 0,04$) et aussi avec le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52, p = 0,04$). Cela corrobore partiellement notre hypothèse et suggère qu'un VO_{2max} plus élevé peut donner un avantage à l'athlète lors de la réalisation du test de SLA.

En plus de la corrélation du VO_{2max} avec la performance au test de SLA, on remarque au Tableau 4 une corrélation très élevée entre le meilleur temps et le temps

moyen des mêmes tests (SLA, $r = 0,96$, $p < 0,001$, SBP, $r = 0,97$, $p < 0,001$). Similairement, Wadley et Le Rossignol (1998) ont trouvé une corrélation élevée entre le meilleur temps et le temps moyen d'exécution d'un sprint pendant un test composé de 12 sprints de 20 m entrecoupés de périodes de récupération passive de 20 s. Selon ces auteurs, cette corrélation suggère que le métabolisme de la PCr, principale source d'énergie pendant un effort bref (Gaitanos et al., 1993), est aussi la plus importante source d'énergie pendant un test de la CRS. Finalement, on observe des corrélations significatives entre les indicateurs de performance des tests de SLA et de SBP (temps moyen, $r = 0,80$, $p = 0,002$, meilleur temps, $r = 0,84$, $p = 0,001$). Apparemment, ces corrélations indiquent que les individus aptes à bien performer dans notre test de SLA sont aptes à aussi performer dans le test de SBP.

Mesures liées à l'oxygénation périphérique. Globalement, le test de SBP a occasionné une extraction de l'oxygène plus importante dans le muscle *vastus lateralis* que le test de SLA. Cette différence est marquée par une réduction plus grande du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ au test de SBP, alors que le $\Delta[\text{HHb}]$ et le $\Delta[\text{THb}]$ n'ont pas été significativement différents lors des tests de SLA et de SBP (Tableau 5). En observant l'oxygénation pendant un seul sprint, on peut noter une variation moyenne significative du $\Delta[\text{HHb}]$, du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et du $\Delta[\text{THb}]$ dans le muscle *vastus lateralis* pendant les deux tests, SLA et SBP (Tableau 5). Le comportement du $\Delta[\text{HHb}]$ durant les sprints des deux tests est un fait intéressant dans notre étude. Une augmentation du $\Delta[\text{HHb}]$ lors de l'exécution d'un sprint et une réduction de cette valeur pendant la période de

récupération étaient attendues, comme il avait été observé dans les études de Buchheit et al. (2009) et de Racinais et al. (2007). Cependant, la courbe du $\Delta[\text{HHb}]$ dans notre étude présente le contraire (Figure 3). Buchheit et al. (2009) et Racinais et al. (2007) mentionnent que l'augmentation du $\Delta[\text{HHb}]$ indique une réduction de l'oxygénéation du tissu analysé. Par contre, pour évaluer l'oxygénéation périphérique il faut observer aussi le $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et le $\Delta[\text{THb}]$. Le $\Delta[\text{THb}]$ est la somme du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et du $\Delta[\text{HHb}]$ et est reconnu comme un indicateur du volume sanguin régional (Buchheit et al., 2009; Smith et al., 2010). Durant nos deux tests de sprints répétés on a observé une réduction moyenne significative du $\Delta[\text{THb}]$ à chaque sprint (SLA : $-8,06 \pm 2,88 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, SBP : $-6,69 \pm 2,93 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < 0,01$). Il est possible que des contractions musculaires plus fortes pendant les sprints peuvent avoir compressé davantage les vaisseaux sanguins, ce qui a diminué l'apport sanguin et a réduit le $\Delta[\text{THb}]$ en comparaison aux périodes de récupération. Pourtant, il faut noter que la diminution moyenne du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ dans les deux tests (SLA : $-7,00 \pm 2,51$, SBP : $-5,81 \pm 2,65 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < 0,01$) a contribué d'une façon plus importante à la diminution du $\Delta[\text{THb}]$ que la réduction du $\Delta[\text{HHb}]$ (SLA : $-1,06 \pm 0,76$, SBP : $-0,88 \pm 0,77 \mu\text{mol} \cdot \text{l}^{-1}$, $p < 0,01$). Ainsi, malgré la diminution du $\Delta[\text{HHb}]$, la diminution encore plus élevée du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ a déterminé une réduction de l'oxygénéation du muscle *vastus lateralis* pendant les sprints des deux tests.

CHAPITRE IX

CONCLUSION

L'utilisation du test de SBP a provoqué une réduction de performance plus importante que le test de SLA, plus représentatif du ratio d'effort observé dans une situation de match de soccer. Par rapport aux paramètres physiologiques mesurés en laboratoire ($\text{VO}_{2\text{max}}$, $\text{vVO}_{2\text{max}}$ et vaLa), il y a eu une corrélation inverse significative du $\text{VO}_{2\text{max}}$ avec le temps moyen d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52, p = 0,04$) et aussi avec le meilleur temps d'exécution d'un sprint au test de SLA ($r = -0,52, p = 0,04$). Ces corrélations suggèrent qu'un $\text{VO}_{2\text{max}}$ plus élevé peut contribuer de façon plus importante à augmenter la tolérance d'un athlète lors du test de SLA, en comparaison à un test plus bref, comme le test de SBP. Dans une demie (45 min) d'un match réel le $\text{VO}_{2\text{max}}$ peut être encore plus important pour augmenter la capacité à répéter de sprints. Éventuellement, l'analyse de l'influence du $\text{VO}_{2\text{max}}$ sur la capacité à répéter des sprints durant une durée et avec un ratio d'effort similaires à la demie d'un match pourrait contribuer à déterminer l'importance du $\text{VO}_{2\text{max}}$ plus précisément. En observant l'oxygénation périphérique, l'exécution d'un sprint a provoqué une variation moyenne significative du $\Delta[\text{HHb}]$, du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$ et du $\Delta[\text{THb}]$ dans le muscle *vastus lateralis* pendant les deux tests SLA et SBP. Dans notre étude, la réduction du $\Delta[\text{HHb}]$ pendant l'exécution d'un sprint, accompagnée d'une réduction encore plus élevée du $\Delta[\text{O}_2\text{Hb}]$, expose la nécessité d'analyser ces deux variables pour la détermination de

l’oxygénation périphérique, et de non seulement considérer la mesure de la variable $\Delta[\text{HHb}]$.

Malgré les différences observées entre les tests de SLA et de SBP, il y a eu des corrélations significatives entre les indicateurs de performance de ces deux tests (temps moyen, $r = 0,80$, $p = 0,002$, meilleur temps, $r = 0,84$, $p = 0,001$). Probablement, ces corrélations indiquent que les individus aptes à bien performer dans notre test de SLA sont aptes aussi à bien performer dans le test de SBP. De cette façon, comme la réalisation du test de SBP est plus brève et moins complexe que celle du test de SLA, nous suggérons d’utiliser le test de SBP pour l’évaluation de la capacité à répéter des sprints chez des joueuses de soccer.

CHAPITRE X

RÉFÉRENCES

- Ali, A. et Williams, C. (2009). Carbohydrate ingestion and soccer skill performance during prolonged intermittent exercise. *Journal of Sports Sciences*, 27, 1499 – 1508.
- Ali, A., Gardiner, R., Foskett, A. et Gant, N. (2011). Fluid balance, thermoregulation and sprint and passing skill performance in female soccer players. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 21, 437 – 445.
- Aziz, A. R., Mukherjee, S., Chia, M. Y. H. et Teh, K. C. (2007). Relationship between measured maximal oxygen uptake and aerobic endurance performance with running repeated sprint ability in young elite soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 47, 401 – 407.
- Barros, R. M. L., Misuta, M. S., Menezes, R. P., Figueroa, P. J., Moura, F. A., Cunha, S. A., Anido, R. et Leite, N. J. (2007). Analysis of the distances covered by first division Brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 233 – 242.
- Bishop, D., Lawrence, S. et Spencer, M. (2003). Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 6, 199 – 209.

- Bloomfield, J., Polman, R. et O'Donoghue, P. (2007). Physical demands of different positions in FA Premier League soccer. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6, 63 – 70.
- Bogdanis, G. C., Nevill, M. E., Boobis, L. H. et Lakomy, H. K. A. (1996). Contribution of phosphocreatine and aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *Journal of Applied Physiology*, 80, 876 – 884.
- Bradley, P. S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P. et Krstrup, P. (2009) High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal of Sports Sciences*, 27, 159 – 168.
- Buchheit, M., Cormie, P., Abbis, C. R., Ahmaidi, S., Nosaka, K. K. et Laursen, P. B. (2009). Muscle deoxygenation during repeated sprint running : effect of active vs. passive recovery. *International Journal of Sports Medicine*, 30, 418 – 425.
- Currell, K., Conway, S. et Jeukendrup, A. E. (2009). Carbohydrate ingestion improves performance of a new reliable test of soccer performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 19, 34 – 46.
- da Silva, J. F., Guglielmo, L. G. A. et Bishop, D. (2010). Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 2115 – 2121.

- Di Salvo, V., Baron, R., Tschan, H., Calderon Montero, F. J., Bachl, N. et Pigozzi, F. (2007). Performance characteristics according to playing position in elite soccer. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 222 – 227.
- Edge, J., Bishop, D., Hill-Haas, S., Dawson, B. et Goodman, C. (2006). Comparison of muscle buffer capacity and repeated-sprint ability of untrained, endurance-trained and team-sport athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 225 – 234.
- FIFA. <http://www.fifa.com/>
- Gaitanos, G. C., Williams, C., Boobis, L. H. et Brooks, S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 75, 712 – 719.
- Guttmann, A. (1994). *Games and Empires : Modern Sports and Cultural Imperialism*. New York : Columbia University Press.
- Harris, R. C., Edwards, R. H. T., Hultman, E., Nordesjö, L.-O., Nylin, B. et Sahlin, K. (1976). The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the quadriceps muscle in man. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, 367, 137 – 142.
- Harvey, A. (2005). *Football : The First Hundred Years : The Untold Story*. New York : Routledge.

- Hughes, M. et Franks, I. (2005). Analysis of passing sequences, shots and goals in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23, 509 – 514.
- Juel, C., Klarskov, C., Nielsen, J. J., Krustrup, P., Mohr, M. et Bangsbo J. (2004). Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 286, 245 – 251.
- McGregor, S. J., Nicholas, C. W., Lakomy, H. K. A. et Williams, C. (1999). The influence of intermittent high-intensity shuttle running and fluid ingestion on the performance of a soccer skill. *Journal of Sports Sciences*, 17, 895 – 903.
- Mohr, M., Krustrup, P. et Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21, 519 – 528.
- Mohr, M., Krustrup, P., Andersson, H., Kirkendal, D. et Bangsbo, J. (2008). Match activities of elite women soccer players at different performance levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 341 – 349.
- Oliver, J. L., Armstrong, N. et Williams, C. A. (2009). Relationship between brief and prolonged repeated sprint ability. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12, 238 – 243.

- Racinais, S., Bishop, D., Denis, R., Lattier, G., Mendez-Villaneuva, A. et Perrey, S. (2007). Muscle deoxygenation and neural drive to the muscle during repeated sprint cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39, 268 – 274.
- Ramsbottom, R., Brewer, J. et Williams, C. (1988). A progressive shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine*, 22, 141 – 144.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R. et Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *International Journal of Sports Medicine*, 28, 228 – 235.
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E. et Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work-rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40, 162 – 169.
- Roberts, R. A., Ghiasvand, F. et Parker, D. (2004). Biochemistry of exercise-induced metabolic acidosis. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 287, 502 – 516.
- Romer, L. M., Haverkamp, H. C., Lovering, A. T., Pegelow, D. F. et Dempsey, J. A. (2006). Effect of exercise-induced arterial hypoxemia on quadriceps muscle fatigue in healthy humans. *American Journal of Physiology - Regulatory Integrative and Comparative Physiology*, 290, 365 – 375.

- Russell, M., Benton, D. et Kingsley, M. (2011). The effects of fatigue on soccer skills performed during a soccer match simulation. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 221 – 233.
- Russell, M. et Kingsley, M. (2011). Influence of exercise on skill proficiency in soccer. *Sports Medicine*, 41, 523 – 539.
- Sahlin, K., Harris, R. C. et Hultman, E. (1975). Creatine kinase equilibrium and lactate content compared with muscle pH in tissue samples obtained after isometric exercise. *Biochemical Journal*, 152, 173 – 180.
- Sahlin, K., Harris, R. C. 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 Clinical & Laboratory Investigation*, 39, 551 – 558.
- Smith, K. J. et Billaut, F. (2010). Influence of cerebral and muscle oxygenation on repeated-sprint ability. *European Journal of Applied Physiology*, 109, 989 – 999.
- 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, 1025 – 1044.
- Stone, K. J., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Stemberidge, M. R., Newcombe, D. J. et Meyers, R. W. (2011). Development of a soccer simulation protocol to include

repeated sprints and agility. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6, 427 – 431.

Thomas, C., Sirvent, P., Perrey, S., Raynaud, E. et Mercier, J. (2004). Relationships between maximal muscle oxidative capacity and blood lactate removal after supramaximal exercise and fatigue indexes in humans. *Journal of Applied Physiology*, 97, 2132 – 2138.

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

Wadley, G. et Le Rossignol, P. (1998). The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 1, 100 – 110.