



Préparation physique

Par **Martin Buchheit**

(Maître de conférences - Faculté des Sciences du Sport,
Université de Picardie Jules Verne - Amiens - France.

Diplômé européen en préparation physique
D. U. en préparation physique
B.E. Handball

<http://www.martin-buchheit.net>

Jeu à effectif réduit et répétition de sprint pour le développement des capacités cardiorespiratoires en handball : des alternatives valables aux exercices intermittents en course navette ?

Vous devriez connaître Martin BUCHHEIT.

Cet universitaire a connu l'essentiel de notre filière de l'intérieur : Elève au pôle de Strasbourg (sous Pierre MANGIN), joueur au SC SELESTAT.

Sa spécialité, qu'il nous fait, régulièrement, partager est la préparation physique adaptée au handball. Les travaux qu'il nous réserve et que nous avons tenu à vous présenter « in extenso » traitent de l'amélioration des capacités respiratoires.

Son questionnement : « Le jeu à effectif réduit, à l'entraînement, sous certaines conditions d'intensité, peut-il atteindre à l'objectif fixé » ?

Par respect pour l'auteur, nous vous présentons l'intégralité de sa recherche.

Nous vous conseillons de faire l'effort d'apprécier la rigueur de la démarche.

L'évolution de nos pratiques en matière de « préparation physique adaptée » passe, obligatoirement, par ce type d'expérimentation.

Aux plus pressés, nous pourrions dire : Utilisez le jeu à effectif réduit à des fins d'amélioration des capacités cardio-pulmonaires de vos athlètes.

Aux plus scrupuleux, osons affirmer : Lisez Martin BUCHHEIT et vous saurez pourquoi il vous propose de le faire...

La Rédaction

Préparation physique

INTRODUCTION

L'étude des facteurs athlétiques de la performance en handball a mis en avant, en complément des capacités d'explosivité, de vitesse et de coordination, l'importance du potentiel aérobie chez le handballeur (8, 9, 24-26). En effet, dès lors que l'on considère le cas de joueurs participants à la majeure partie d'une rencontre, la charge aérobie apparaît relativement conséquente : le(a) joueur(euse) évolue sur l'heure de jeu à une fréquence cardiaque (FC) moyenne de l'ordre de 80 à 90% de la FC maximale (FCmax), et au minimum 6 à 12 min sont passées à des intensités supérieures à 90% de FCmax, apparentée à autant de temps passé proche de la consommation maximale d'oxygène (O2max) (8, 27). Même s'il est possible de changer régulièrement la composition de l'équipe pour permettre aux joueurs présentant un potentiel aérobie déficitaire de récupérer, l'intérêt d'une bonne capacité cardiorespiratoire reste indiscutable à très court terme dans la mesure où ses déterminants cardiocirculatoires et musculaires permettent d'optimiser la capacité de récupération inter-efforts (4, 23, 31). En effet, bien que cela ait parfois été controversé, c'est bien le potentiel oxydatif musculaire (capillarisation, densité mitochondriale, enzymes oxydatives) et les transporteurs membranaires qui sont en grande partie impliqués dans les processus de resynthèse des phosphagènes et d'élimination des métabolites de l'effort (H⁺, lactate, Pi...) durant les courtes pauses ou périodes de récupération plus ou moins actives (4, 23, 31). L'inertie du métabolisme aérobie lors de l'initiation des efforts (22), ou encore la capacité à tamponner l'acidose (bicarbonates sanguins) (3) sont autant d'autres facteurs primordiaux de cette capacité à réitérer des efforts brefs et intenses avec un maximum d'efficacité. Concrètement, l'amélioration des capacités cardiorespiratoires ne s'opère, chez le sujet entraîné, qu'à travers de sollicitations à haute intensité pendant lesquelles au

minimum 3 à 4 min doivent être passées à un pourcentage très proche de O2max (29). Les exercices intermittents en course navette, réalisés à des vitesses proches, voire supérieures à la VIFT (vitesse de référence pour la programmation du travail intermittent court en navette, atteinte à la fin du 30-15 Intermittent Fitness Test (7, 12)), sont aujourd'hui reconnus pour leur efficacité (2, 8, 9, 29).

Néanmoins, étant donné la forme aspécifique de ces courses 'athlétiques', il est permis de se poser la question de la pertinence de la programmation de telles séries pour des joueurs(euses) évoluant à des niveaux intermédiaires ou pratiquant le handball en loisir. Le volume d'entraînement étant déjà relativement faible, le recourt à des situations permettant de développer à la fois les qualités technico-tactiques et les composantes athlétiques, telles que des séquences de jeu aménagées à effectif réduit (13, 16, 17, 30), semble ainsi tout à fait légitime. Ensuite, de manière générale, et ceci même pour les joueurs de haut niveau moins confrontés aux contraintes de temps, la réflexion autour de la 'transférabilité' des capacités athlétiques à la discipline handball restant posée, l'utilisation des jeux à effectif réduit peut également s'entrevoir comme un élément incontournable de l'entraî-

nement spécifique et la préparation physique intégrée. Cependant, même si ce type de séquence d'entraînement est pratiqué aujourd'hui empiriquement, aucune étude n'avait pour le moment décrit les réponses cardiorespiratoires lors de ces séquences de jeu à effectif réduit pour en estimer objectivement l'efficacité.

Enfin, le travail sous forme de répétition de sprint a aussi récemment connu un engouement notable (9, 14, 18, 19), puisqu'il permettrait, pour une sollicitation aérobie quasi-équivalente et des ratios temps d'effort/repos plus proches de l'activité, de solliciter les fibres rapides de manière plus marquée que l'intermittent classique. L'idée avancée est ainsi de pouvoir consacrer, au travers de ce travail mixte, un volume plus important au développement de l'explosivité musculaire (18, 19). Cependant, puisque ses effets à long terme étaient encore mal connus jusqu'à aujourd'hui, baser le travail aérobie à haute intensité uniquement sur cette modalité d'effort restait audacieux.

L'objectif de ce document est ainsi de présenter les intérêts et limites actuelles des alternatives au travail intermittent en course navette, à savoir le jeu à effectif réduit et la répétition de sprint.



Le jeu à effectif réduit : une alternative valable au travail intermittent en course navette pour le développement de la puissance maximale aérobie ?

Récemment, nous avons comparé les réponses cardiorespiratoires observées lors de courtes périodes de jeu à effectif réduit (HB) à celles enregistrées lors d'un exercice intermittent en course navette (IE) de même durée, utilisé comme exercice de référence pour le développement de la puissance maximale aérobie (13).

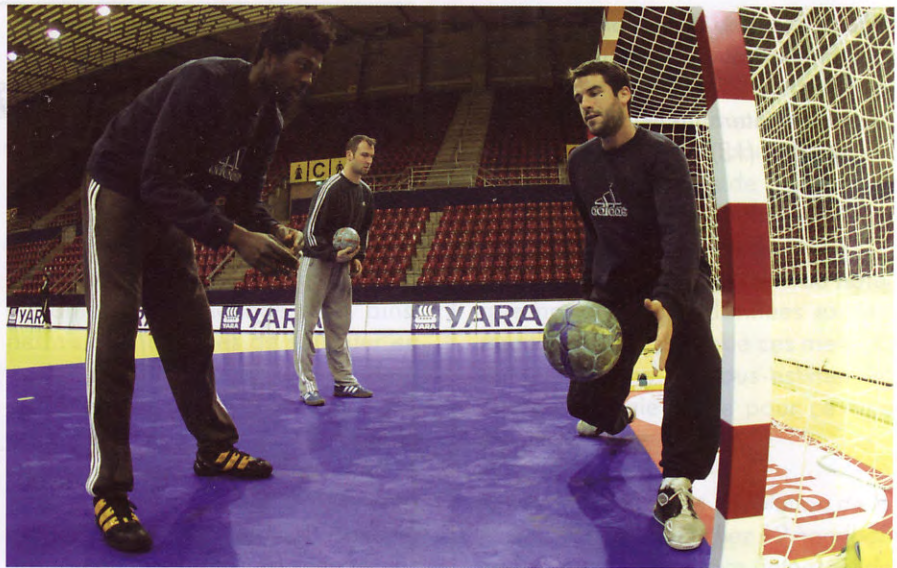
Résumé des conditions expérimentales

Après détermination préalable de la vitesse maximal atteinte à la fin du 30-15 Intermittent Fitness Test (VIFT)(7, 12), de VO_{2max} et de FC max, neuf joueurs (21.0 ± 2.9 ans, 181.0 ± 4.6 cm, 78.4 ± 8.9 kg, et s'entraînant 5.0 ± 1.1 h.semaine⁻¹ + match le week-end), évoluant en Nationale 3 ou pré-nationale, participèrent, équipés d'un analyseur de gaz portable et d'un cardiofréquencemètre, dans un premier temps, à un exercice intermittent de 8' en course navette sur 40m (effort : 95%VIFT, récupération passive (8, 9)), puis dans un second temps, à 2 périodes de jeu à effectif réduit d'une durée de 3'15" avec règlement adapté, entrecoupées de 30" de récupération (donc un temps total d'effort de 8' également).

à Les règles du jeu à effectif réduit étaient les suivantes :

- 4 joueurs de champ et un gardien,
- pas de dribble,
- pas de contact,
- obligation de dépasser le milieu du terrain pour valider un but,
- engagement immédiat du gardien après chaque but,
- nous tenions à disposition des ballons de remplacement afin de reprendre le jeu aussi rapidement que possible après une éventuelle perte de balle,
- nous encourageons verbalement les joueurs pour observer une intensité de jeu aussi haute que possible.

Pour comparer les exercices, nous avons considéré, lors des deux formes d'exercices :



- 1) la plus haute valeur de O_2 atteinte (O_{2pic}), la O_2 moyenne et surtout le temps passé au dessus de 90% de O_{2max} ($t_{90O_{2max}}$), qui est communément utilisé comme critère objectif de l'efficacité d'une sollicitation aérobie (28),
- 2) la plus haute FC atteinte (FC_{pic}), la FC moyenne et le temps passé au dessus de 90% de FC_{max} ($t_{90FC_{max}}$),
- 3) la lactatémie post-effort,
- 4) la pénibilité de l'effort au travers d'une échelle de Borg (5) et enfin,
- 5) la distance totale parcourue grâce à une analyse vidéo et un logiciel de 'tracking' de la souris (Mousotron pro).

Principaux résultats obtenus

La figure 1 illustre des niveaux comparables de O_2 pour un joueur lors des deux exercices. Le tableau 1 présente, de manière synthétique, les valeurs mesurées lors de chaque exercice. La comparaison des deux exercices a montré que le jeu à effectif réduit, pratiqué de la sorte, s'avère être une alternative valable au travail intermittent en course navette, puisque les sollicitations aérobies sont même légèrement supérieures pour le jeu de handball (Figure 2). A l'inverse, autre fait intéressant, les valeurs de lactatémie et de pénibilité de l'effort perçues étaient inférieures lors du jeu à effectif réduit. Ceci peut être lié au fait que l'activité handball, perçue comme ludique, diminue la perception de pénibilité pour une charge aérobie comparable. D'autre part, comparativement à IE, le jeu

inclut spontanément des phases de récupération active, connue pour faciliter l'élimination du lactate (1). Ces deux observations justifient également l'utilisation du jeu à effectif réduit chez des joueurs de haut niveau. En effet, le HB permet à la fois de minimiser les contraintes psychologiques liées à l'entraînement à haute intensité, mais aussi, au travers d'une récupération a priori accélérée du fait d'une participation anaérobie moindre, d'alléger les contraintes musculaires déjà conséquentes (musculature, travail de vitesse, etc (10, 11)).

Enfin, il a récemment été montré lors de jeu à effectif réduit en football (30), que l'intensité moyenne de ceux-ci était négativement liée au nombre de joueur par équipe, et positivement corrélée aux consignes (voire réprimandes) verbales des coaches ! Il paraît évident qu'à trois contre trois par exemple, les joueurs soient plus souvent sollicités et fournissent ainsi un effort plus soutenu qu'à 4 contre 4. En revanche, la deuxième conclusion est intéressante : plus les coaches interviennent, plus l'intensité du jeu a tendance à être importante. Alors que pour exercice intermittent de course, l'intensité peut être manipulée au travers du % de VIFT utilisé, il apparaît ainsi possible de moduler l'intensité des jeux à effectif réduit selon la composition des équipes et le degré d'intervention du coach auprès des joueurs. C'est justement en jouant sur ces facteurs que nous pourrions aborder le développement de la capacité aérobie (voir plus loin).



Préparation physique

Fig. 1. Exemple de l'évolution de la consommation d'O₂ pour un sujet lors du jeu à effectif réduit (HB) et de l'exercice intermittent de course en navette (IE). (13)

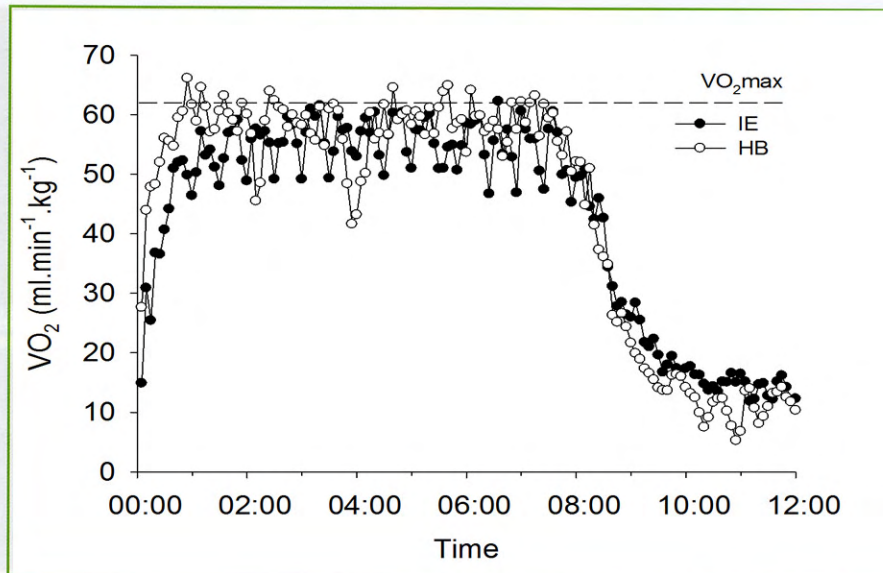
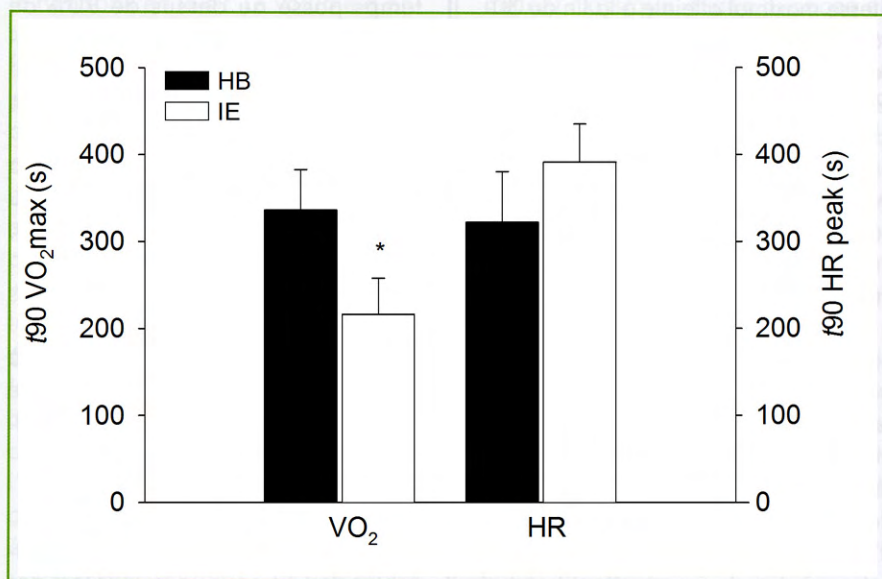
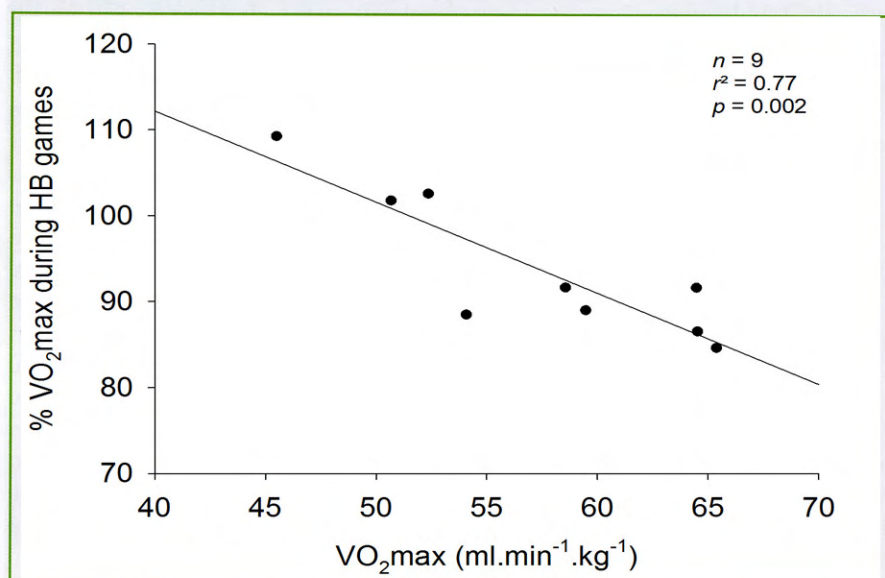


Fig. 2. Temps moyen (\pm ET) passé au dessus de 90% de la consommation maximale d'oxygène ($t_{90O2max}$) et au dessus de 90% de FC max ($t_{90HRmax}$). *: différence significative entre HB et IE. (13)



Enfin, à l'échelle individuelle, il était également remarquable que l'intensité moyenne maintenue lors du jeu à effectif réduit était inversement corrélée à la O₂max des joueurs (Figure 3) ; ceux possédant les plus faibles capacités cardiorespiratoires étaient aussi ceux subissant l'exercice le plus sollicitant, et vis et versa. Ceci suggère, pour l'utilisation de ce type de séances à l'échelle d'une équipe entière, d'uniformiser les compositions des équipes en fonction des qualités aérobies (en fonction de VIFT par exemple), ou, le cas échéant, de demander des efforts supplémentaires aux meilleurs (une pompe ou un saut genou-poitrine après chaque possession de balle par exemple).

Fig. 3. Relation entre la consommation maximale d'O₂ (%O₂max) et l'intensité moyenne soutenue durant le jeu à effectif réduit (%O₂max). (13)



Applications et illustration pour le développement de la capacité aérobie.

De manière similaire, il est aussi possible d'envisager le jeu à effectif réduit pour développer la capacité aérobie au travers d'une approche intégrée de la préparation physique. Cet objectif nécessitant une intensité inférieure au travail de PMA (80-85% de $\dot{V}O_{2\max}$), mais sur une durée plus longue (de 20 à >45')(6), une charge appropriée peut être obtenue par la succession rapprochées de 3 à 8 séquences de jeu d'une durée de 6 à 8' chacune. Afin de pouvoir faire participer tous les joueurs en même temps, l'essentiel des situations aura lieu sur une largeur du terrain ; deux aires de jeu permettant ainsi à 4 équipes de 3 ou 4 joueurs de s'affronter simultanément. Ensuite, dans cette configuration, au jeu de handball adapté, utilisé précédemment, se substitueront préférentiellement des variantes tels qu'un 'touch-down' adapté du rugby (poser la balle derrière la ligne de fond adverse, courir balle en main est permis, mais touché, la balle est rendue à l'adversaire), balle au plot avec ou sans dribble (en respectant une zone à env. 2 m (ligne rouge du terrain de basket), il s'agit de toucher l'un des deux cônes placés sur la ligne de fond adverse – ligne jaune du terrain de

HB), etc. La figure 4 présente le tracé moyen de FC enregistrée chez 12 joueuses (EAL Abbeville, N1 féminine, saison 2006-2007) lors d'une séance uniquement axée sur des jeux à effectif réduit (hormis une série de 4 à 6 contre-attaques en fin d'entraînement – avec récupération courte induisant une charge aérobie malgré tout intéressante). Cette séance aura ainsi permis aux joueuses de solliciter en moyenne 81% de leur FC_{\max} et de passer plus de 30' au dessus de 85%. Les différentes zones de FC laissent entendre qu'une activité comme le foot, de part ses contraintes techniques inhérente (surtout pour le groupe en question), est bien moins sollicitant qu'un 'touch-down' ou qu'une balle au plot sans dribble.

L'avant dernière séquence en 'touch-down' sur tout le terrain illustre également la nécessité de rester sur de petits effectifs, puisque le passage de 3 à 6 joueuses par équipe se traduit par une baisse de 8.3 bpm en moyenne. Bien que l'intensité de cette séance soit estimée au travers de la FC mesurée, il est important de noter que nos dernières données expérimentales suggèrent que ces mesures tendent même à sous-estimer la charge aérobie réelle pour ce type d'activité.

Fig. 4. Illustration de l'évolution de la FC (moyenne \pm ET) chez 12 handballeuses lors d'une séance 'intégrée' de capacité aérobie.

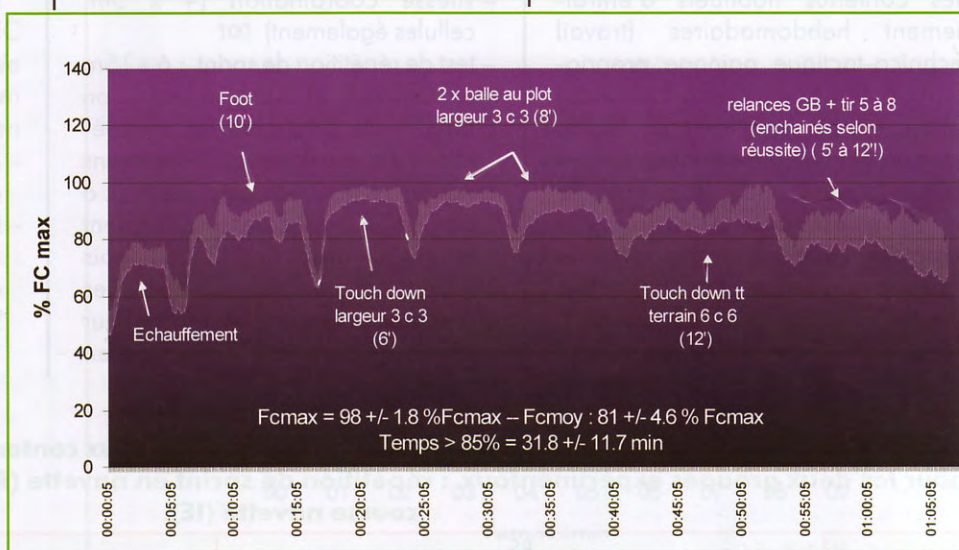


Tableau 1 : Réponses cardio-respiratoires et métaboliques lors des deux exercices.

	$\dot{V}O_{2\text{pic}}$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\text{moyenne}}$ (% $\dot{V}O_{2\max}$)	FC pic (bpm)	FC moyenne (% FC_{\max})	[La]b ($\text{mmol} \cdot \text{l}^{-1}$)	Energie d'origine aérobie (%)	Energie d'origine anaérobie (%)	Perception de l'effort	Distance totale parcourue (m)
HB	60.2 \pm 3.9	93.9 \pm 8.5	187.0 \pm 10.15	92.3 \pm 4.9	8.9 \pm 3.5	92.4 \pm 2.3	7.6 \pm 2.3	6.3 \pm 0.5	1234.3 \pm 112.3
IE	87.6 \pm 7.4	87.6 \pm 7.4	189.0 \pm 7.8	93.9 \pm 3.9	11.6 \pm 2.07*	90.4 \pm 1.1*	9.6 \pm 1.1*	6.6 \pm 0.5	1182.5 \pm 52.2

Valeur maximale de atteinte (pic), moyenne, valeur maximale de FC atteinte, concentration sanguine en lactate [La]b, part respective des systèmes aérobie et anaérobie dans la fourniture de l'énergie, perception de l'effort et distance totale parcourue lors du jeu à effectif réduit (HB) et lors de l'exercice intermittent en course navette (IE). *: différence significative entre HB et IE. (13)



Préparation physique

'Répétition de sprint en navette' versus 'exercice intermittent classique en course navette'

Afin de juger et de comparer l'efficacité de ces deux types de travail pour le développement des qualités athlétiques, 15 joueurs du pôle Espoir handball d'Amiens (15.6 ± 0.8 ans) ont participé à une expérimentation sur environ 3 mois (14).

Résumé des conditions expérimentales

Les joueurs ont été répartis en deux groupes équilibrés en termes de performances physique initiales, d'âge et de statut pubertaire. En plus des contenus habituels d'entraînement hebdomadaires (travail technico-tactique, gainage, proprioception et introduction à la musculation, vitesse et pliométrie légère pour un total de 8 h.semaine-1 + un match le week-end), le groupe RS ($n=8$) a pratiqué deux fois par semaine un exercice supramaximal de répétition de sprint en navette, alors que le groupe IE ($n=7$) effectuait un exercice intermittent en course navette

(tableau 2). Ces séances additionnelles étaient programmées pour avoir une durée similaire, et ainsi occuper strictement la même part de l'entraînement commun aux deux groupes. Le détail du programme d'entraînement de neuf semaines, présentant des périodes de surcharge, de récupération et d'affûtage, prévu pour la préparation des inter-pôles 2007, est donné dans le tableau 2. Les tests suivants ont été réalisés une semaine avant et après la période d'entraînement :

- explosivité musculaire (contre mouvement jump sur Optojump, CMJ)
- démarrage sur 10m (cellules photo électriques Brower)
- vitesse coordination (4 x 5m, cellules également)
- test de répétition de sprint : 6 x 15m en navette (soit 30m), récupération passive de 14' entre les 6 répétitions. Pour le handball, nous avons adapté ce test, reproductible (32), à partir des protocoles usuellement utilisés sur ergocycle (23, 31). Trois indices ont été calculés à partir des 6 temps enregistrés : le meilleur temps (RSAb), le temps moyen

(RSAm), ainsi que la fatigue estimée (RSAf) : $[(\text{Temps total} - \text{temps idéal}) \times 100] - 100$, le temps idéal étant le meilleur temps $\times 6$. Note : Récemment, bien qu'internationalement utilisé (4, 23, 31, 32), la pertinence de ce type de test a été remise en cause (20), car, effectivement, ses durées d'efforts et de pauses ne représentent pas le ratio effort/pause moyen retrouvés durant la plupart des matchs de sport-co. Exact. En revanche, et c'est bien pour cela que ce test revêt malgré tout un immense intérêt, sa structure s'approche de certaines séquences de jeu récurrentes en match (23, 31), quand quelques actions intenses s'enchaînent très rapidement et déterminent bien souvent l'issue du match ! En privilégiant ainsi l'observation qualitative et non quantitative de notre activité, ce test apparaît même incontournable !

- 30-15IFT (7, 12) et ainsi la VIFT atteinte

- FC moyenne (%FC6m) et FC maximale (%FC6pic) mesurée lors d'un exercice sous-maximal (60% VIFT) de course sur 6'.

Tableau 2. Détail des séances ajoutées bi-hebdomadairement aux contenus habituels d'entraînement pour les deux groupes expérimentaux : répétition de sprint en navette (RS) et exercice intermittent en course navette (IE).

	RS	IE
S1	2 x [2x(6 x 2x15m (14"p))]	2 x [6' 20"(90%)-20"p]
S2	2 x [3x(5 x 2x15m (14"p))]	2 x [8' 20"(90%)-20"p]
S3	2 x [2x(6 x 2x15m (14"p))]	2 x [10' 20"(90%)-20"p]
S4	Régénération*	Régénération*
S5	2 x [2x(5 x 2x20m (23"p))]	2 x [7' 15"(90%)-15"p]
S6	2 x [2x(6 x 2x20m (23"a))]	2 x [8' 15"(95%)-15"p]
S7	2 x [2x(5 x 2x20m (23"a))]	2 x [7' 15"(95%)-15"p]
S8	2 x [3x(6 x 2x20m (23"a))]	2 x [12' 15"(95%)-15"p]
S9	1 x [1x(6 x 2x20m (23"a))]	1 x [5' 15"(95%)-15"p]

Description des séquences spécifiques d'entraînement ajoutées aux contenus habituels. Par exemple, pour RS durant la première semaine, '2 x [2x(6 x 2x15m (14"p))]' signifie qu'il y a eu 2 sessions dans la semaine, chacune composée de 2 séries de 6 sprints en navette sur 15m, entrecoupés de 14" de récupération passive. La récupération entre les séries de RS était toujours de 2'. p' renvoie à un mode de récupération passif et a', active (course légère à 45% VIFT).

* : ni handball ni autre contenus à l'exception de trois fartleck sur env. 45' à une intensité subjective - échelle de perception - entre 6 et 7/10. (14)

Principaux résultats obtenus

Les réponses en termes de FC lors des deux exercices sont illustrées sur la figure 5 chez deux joueurs. Il apparaît que, bien que la FC_{pic} atteinte était similaire pour les deux exercices (97.5 ± 2.7 vs. 96.2 ± 4.8 % FC_{max}, $p = 0.62$, pour RS et IE, respectivement), la FC moyenne lors de RS était significativement inférieure à celle lors de IE (82.8 ± 3.2 vs. 91.4 ± 3.1 % FC_{max}, $p < 0.05$).

La figure 6, qui présente les progrès effectués entre la première et la seconde batterie de tests, laisse entrevoir que l'addition bi-hebdomadaire d'un exercice de répétition

de sprint en navette n'est qu'accompagnée d'une amélioration significative des qualités d'explosivité musculaire (CMJ) et d'une diminution du coût énergétique de l'effort sous maximale (d'après les baisses de %FC_{max6m} et %FC_{max6pic}), alors que l'ajout d'un exercice intermittent se traduit par des améliorations de l'explosivité musculaire, de la capacité à répéter des sprints, du coût énergétique sous-maximal et de la performance aérobique intermittente. Etant donné que l'exercice de répétition de sprint est très spécifique et semblable au test des mêmes qualités (RSA), il est très surprenant d'observer l'absence de ses effets. Nous pouvons

émettre l'hypothèse que, même si l'intensité d'un point de vue musculaire apparaît maximale, le niveau de sollicitation aérobique serait insuffisant lors des séances de répétition de sprint (7) pour induire un progrès significatif de la capacité cardiorespiratoire chez ces joueurs déjà très entraînés. La capacité à réitérer des sprints étant fortement liée aux capacités cardiorespiratoires (4, 23, 31), il est ainsi cohérent d'observer, pour le groupe IE, de manière concomitante aux progrès de VIFT, une amélioration de RSA_m et une tendance (car non significative) à la baisse de RSA_f.

Fig. 5. Exemple de l'évolution de la FC pour deux sujets lors d'une séance de répétition de sprint navette (RS) et d'un exercice intermittent de course en navette (IE). (14)

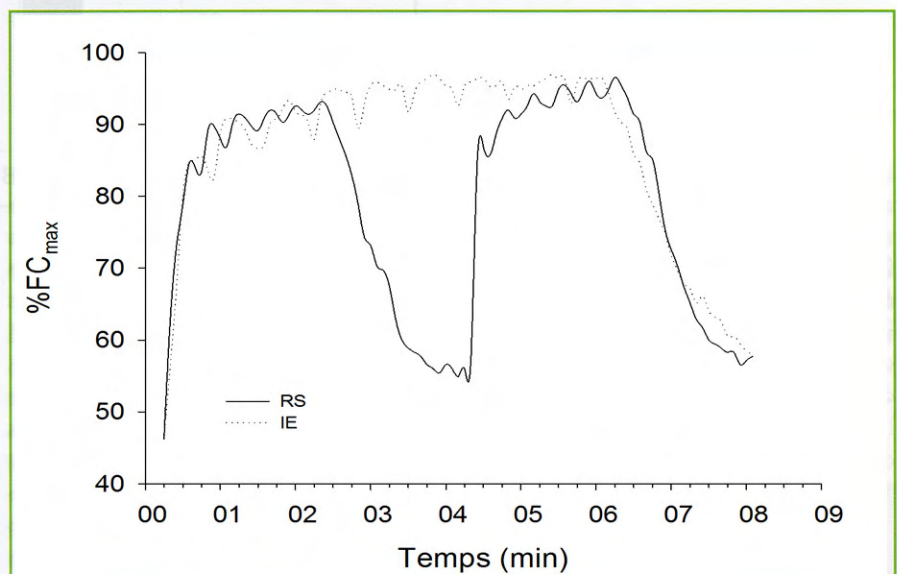
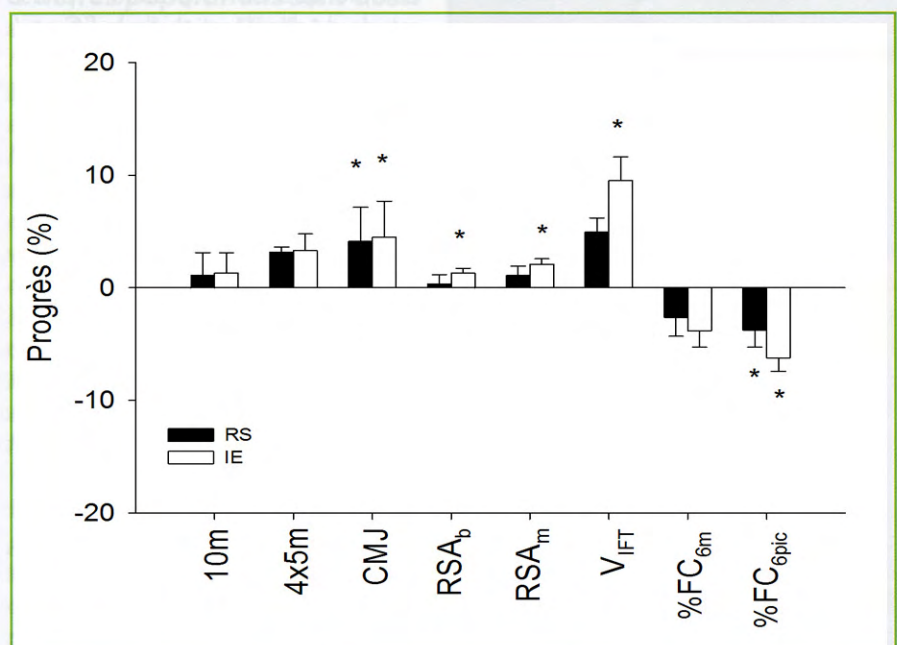


Fig. 6. Progrès aux différents tests physiques (voir texte pour détails) après 9 semaines d'entraînement en pôle (handball + musculation, etc.) durant lesquelles étaient ajoutées, de manière bi-hebdomadaire, une séance de répétition de sprint en navette (RS) ou un exercice intermittent de course en navette (IE). * : progrès significatif par rapport au test initial. (14)





Préparation physique

La FC : indicateur valide de la charge aérobique en handball ?

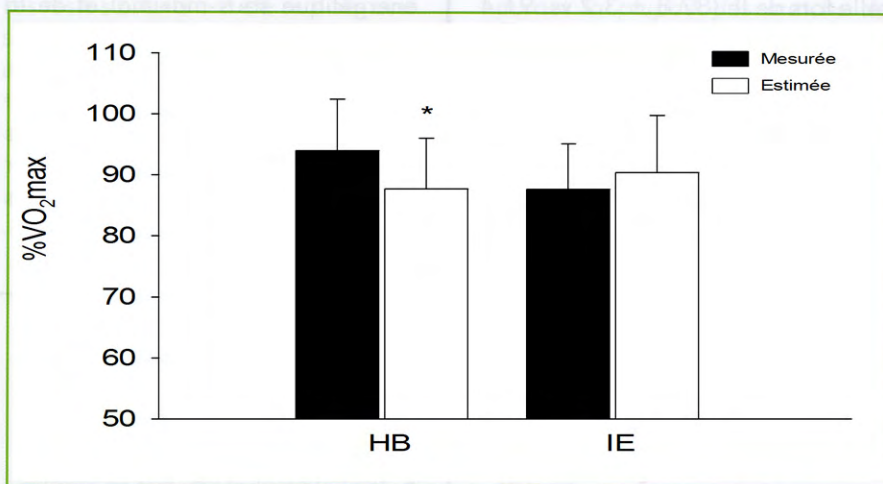
Lors de l'étude comparative menée entre HB et IE (13), nous avons également voulu observer si la FC seule pouvait être utilisée comme un témoin valide de la consommation d'O₂ lors du jeu à effectif réduit et de l'intermittent. Pour cela, nous avons

Fig. 7. Valeurs moyennes (\pm ET) de VO₂ mesurées et estimées à partir de la FC durant les jeux à effectif réduit (HB) et lors de l'exercice intermittent en course navette (IE). *: différence significative entre HB et IE.

Cette sous-estimation de VO₂ peut être liée à de nombreux facteurs influençant la FC indépendamment de la consommation d'O₂ et de la dépense énergétique. Le stress, l'anxiété, la concentration (contrôle de l'adversaire et du ballon), les

réutilisé les valeurs issues de relation linéaire entre FC et O₂ obtenue lors du test triangulaire de détermination de O₂max (lors du 30-15IFT) : $O_{230-15IFT\text{mesurée}} = a(30-15IFT) \times FC(30-15IFT) + b(30-15IFT)$. Ainsi, la O₂ lors de HB et IE était estimée selon : $O_{2HB\text{est}} = a(30-15IFT) \times FC(HB) + b(30-15IFT)$ et $O_{2IE\text{est}} = a(30-15IFT) \times FC(IE) + b(30-15IFT)$.

Nous avons ainsi comparé les valeurs de O₂ estimées avec celles mesurées réellement pour chaque sujet. L'analyse statistique a alors montré que malheureusement, l'estimation de la O₂ à partir de la FC avait tendance à être sous-estimée pour le jeu à effectif réduit ; alors que l'estimation durant l'intermittent paraissait valable (Figure 7).



contacts ou encore les mouvements spécifiques au match (exercices statiques, changements de direction, course latéral et arrière, sprints, sauts...) peuvent en effet modifier la relation FC/O₂, et ainsi induire des évolutions dissociées des deux para-

mètres (21). Pour corriger et affiner l'estimation du O₂ en handball à partir de la FC, des indicateurs de la charge externe, tels qu'un accéléromètre ou un GPS, pourraient être utilisés en complément.

La FC de récupération : implications pour le suivi longitudinal de la capacité à répéter des sprints.

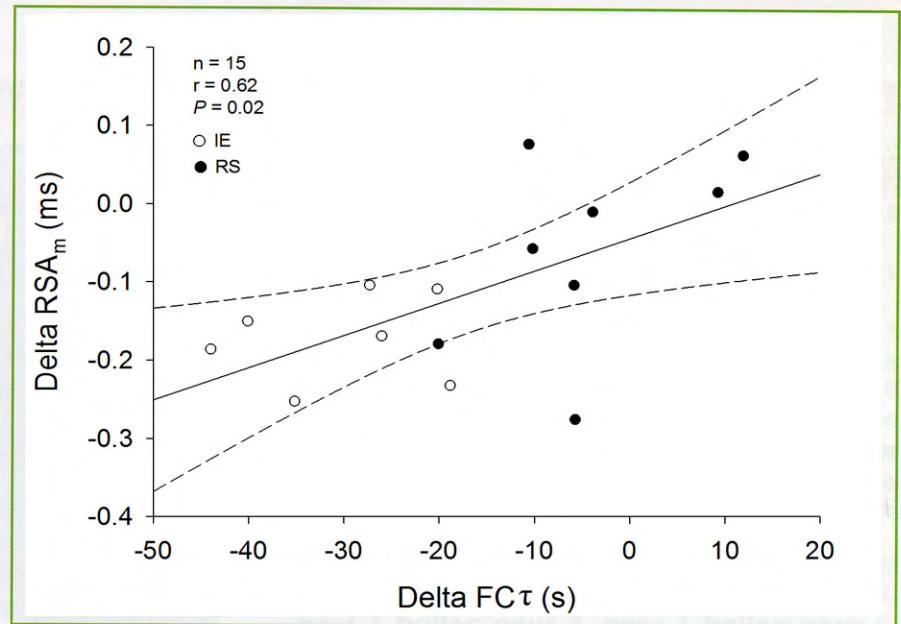
Lors de l'étude longitudinale sur les effets comparés entre RS et IE (14), nous avons également mesuré, avant et après entraînement, la récupération cardiaque après l'effort sous-maximal de 6' (60% VIFT, intensité sous maximale permettant d'éviter les effets confondant du système sympathique suractivé sur l'activité frénatrice du système parasympathique)(15). Pour quantifier cette récupération, diverses méthodes existent. La plus simple, qui consiste à comptabiliser le nombre de battement récupérés en 1 min après l'arrêt de l'exercice (appelé 'ITR' parfois), est valide, mais ne tient

compte que de la première phase rapide de décélération de la FC sous influence parasympathique (15). Afin de tenir compte à la fois de la phase initiale et de la seconde, plus lente (essentiellement liée à l'élimination des métabolites sanguins, lactate, catécholamines, phosphate inorganique...), il est possible de modéliser l'évolution de la FC selon un model monoexponentiel (logiciel Sigmaplot 10, SPSS Science; Chicago, IL, USA par exemple) ; ce dernier nous donnant ainsi une constante de temps (FC) rendant compte du délai global d'ajustement de la FC durant la phase complète de récupération (15). Dans notre étude, la plupart des sujets ont amélioré leur récupération grâce à l'entraînement, et d'autant plus en pratiquant IE que

RS (FC : -30.2 ± 9.6 vs. -5.2 ± 8.3 s, $p < 0.01$, pour IE vs. RS, respectivement). Mais le plus intéressant est que ce sont les jeunes qui ont le plus amélioré leur récupération cardiaque (donc ceux qui ont le plus réduit FC) qui ont également le mieux progressé sur le test de répétition de sprint (Figure 8). L'évolution de FC avec l'entraînement avait déjà été décrite (33), mais les relations entre FC et la performance sportive, non.

Ces données illustrent ainsi tout l'intérêt de l'observation de la FC de récupération pour suivre l'évolution du potentiel athlétique du handballeur.

Fig. 8. Relation entre les progrès en termes de récupération cardiaque après l'effort sous-maximal (Delta FC) et de capacité à répéter des sprints (RSAm)(14).



CONCLUSION

Les études récentes présentées ici suggèrent que l'exercice intermittent en course navette n'est pas l'unique moyen susceptible d'améliorer les capacités athlétiques du handballeur. Le jeu à effectif réduit, en effet, semble permettre de solliciter suffisamment le système aérobie pour pouvoir induire des adaptations et des progrès notables. Cependant, aujourd'hui, il manque encore les données d'une étude longitudinale pour confirmer cette hypothèse.

Concernant la deuxième étude, il est important de noter que les jeunes ayant pratiqué, en dehors des séances de répétition de sprint ou de course en intermittent, du handball, de la musculation et de la vitesse, il n'est pas aisé de discerner les réels effets de ces séances additionnelles de ceux des contenus généraux.

Néanmoins, il semble que l'exercice de répétition de sprint, alors qu'il apparaît très spécifique aux qualités à développer, ne s'avère pas très

approprié pour améliorer la capacité cardiorespiratoire chez des joueurs déjà très entraînés.

Des études complémentaires mettant en œuvre des durées ou distances de sprint différentes restent à mener pour voir s'il est possible malgré tout d'arriver à des effets similaires à l'exercice intermittent en course navette. Ses effets sur d'autres populations sont aussi à tester (adultes, féminines...).

Enfin, il apparaît que la FC, qui reste l'indicateur physiologique le plus facile d'accès sur le terrain (un cardiofréquencemètre entrée de gamme vaut moins de 30€ aujourd'hui), doit et peut être utilisé avec un certain recul par l'entraîneur ou le préparateur physique. Enregistrée lors de l'activité, il se pourrait qu'elle sous-estime la charge aérobie réelle.

En suivi longitudinal, sa récupération après un effort sous-maximal pourrait rendre compte des adaptations physiologiques consécutives à

l'entraînement et pourrait ainsi donner indirectement des informations sur les capacités athlétiques du moment. Là aussi, des études restent à mener pour identifier quelles sont les liens réels entre récupération cardiaque et récupération musculaire.





Références

1. Ahmaidi, S., P. Granier, Z. Taoutaou, J. Mercier, H. Dubouchaud, and C. Prefaut. Effects of active recovery on plasma lactate and anaerobic power following repeated intensive exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 28:450-456, 1996.
2. Billat, L. V. Interval training for performance: a scientific and empirical practice. Special recommendations for middle- and long-distance running. Part II: anaerobic interval training. *Sports Med.* 31:75-90., 2001.
3. Bishop, D., J. Edge, and C. Goodman. Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *Eur J Appl Physiol.* 92:540-547., 2004.
4. Bishop, D. and M. Spencer. Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance-trained athletes. *J Sports Med Phys Fitness.* 44:1-7, 2004.
5. Borg, G. Borg's Perceived Exertion and Pain Scales: Human Kinetics, 1998
6. Bosquet, L., L. Leger, and P. Legros. Methods to determine aerobic endurance. *Sports Med.* 32:675-700, 2002.
7. Buchheit, M. The 30-15 Intermittent Fitness Test: accuracy for individualizing interval training of young intermittent sport players. *J Strength Cond Res*:In press, 2007.
8. Buchheit, M. Illustration de la programmation du travail intermittent à partir de la vitesse atteinte à la fin du 30-15 Intermittent Fitness Test - 1ère partie. *Approches du Handball.* 88:36-46, 2005.
9. Buchheit, M. Illustration de la programmation du travail intermittent à partir de la vitesse atteinte à la fin du 30-15 Intermittent Fitness Test - 2ème partie. *Approches du Handball.* 89:41-47, 2005.
10. Buchheit, M. La préparation physique en Handball - Tome I DVD: <http://www.martin-buchheit.net>, 2005.
11. Buchheit, M. La préparation physique en Handball - Tome II DVD: <http://www.martin-buchheit.net>, 2005.
12. Buchheit, M. Le 30-15 Intermittent Fitness Test : un nouveau test de terrain spécialement dédié aux sport collectifs pour la détermination d'une vitesse de référence pour le travail intermittent. *Approches du Handball.* 87:27-34, 2005.
13. Buchheit, M., P. M. Lepretre, A. L. Behaegel, G. P. Millet, and S. Ahmaidi. Cardiorespiratory responses during running and sport-specific exercises in handball players. *Soumis.*
14. Buchheit, M., G. P. Millet, A. Parisy, S. Pourchez, P. Laursen, and S. Ahmaidi. **Supramaximal training and post-exercise parasympathetic reactivation in adolescents.** *Med. Sci Sport Exerc.*, In press, 2008.
15. Buchheit, M., Y. Papelier, P. B. Laursen, and S. Ahmaidi. Noninvasive assessment of cardiac parasympathetic function: post-exercise heart rate recovery or heart rate variability? *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* In press, 2007.
16. Castagna, C., R. Belardinelli, F. M. Impellizzeri, G. A. Abt, A. J. Coutts, and S. D'Ottavio. Cardiovascular responses during recreational 5-a-side indoor-soccer. *J Sci Med Sport.* 2006.
17. Castagna, C., S. D'Ottavio, V. Manzi, G. Annino, R. Coll, R. Belardinelli, and F. Lacalaprice. HR and VO2 responses during basketball drills. In ECSS. *Belgrade.* 2005.
18. Cometti, G. Etude des effets de différentes séquences de travail de type « intermittent ». Available at: <http://www.u-bourgogne.fr/EXPERTISE-PERFORMANCE/> Accessed, 2003.
19. Cometti, G. L'entraînement "intermittent-force": moyen fondamental de l'amélioration de la puissance maximale aérobie. Available at: <http://www.u-bourgogne.fr/EXPERTISE-PERFORMANCE/> Accessed, 2001.
20. Cometti, G. La résistance à la vitesse : clé de la préparation physique en sports collectifs? Available at: <http://www.u-bourgogne.fr/EXPERTISE-PERFORMANCE/> Accessed, 2006.
21. Crisafulli, A., G. Pittau, L. Lorrain, A. M. Carcassi, M. Cominu, F. Tocco, F. Melis, and A. Concu. Poor reliability of heart rate monitoring to assess oxygen uptake during field training. *Int J Sports Med.* 27:55-59, 2006.
22. Dupont, G., G. P. Millet, C. Guinhouya, and S. Berthoin. Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol.* 95:27-34, 2005.
23. Glaister, M. Multiple sprint work : physiological responses, mechanisms of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Med.* 35:757-777., 2005.
24. Gorostiaga, E. M., C. Granados, J. Ibanez, J. J. Gonzalez-Badillo, and M. Izquierdo. Effects of an entire season on physical fitness changes in elite male handball players. *Med Sci Sports Exerc.* 38:357-366, 2006.
25. Gorostiaga, E. M., C. Granados, J. Ibanez, and M. Izquierdo. Differences in physical fitness and throwing velocity among elite and amateur male handball players. *Int J Sports Med.* 26:225-232, 2005.
26. Jensen, J., S. T. Jacobsen, S. Hetland, and P. Tveit. Effect of combined endurance, strength and sprint training on maximal oxygen uptake, isometric strength and sprint performance in female elite handball players during a season. *Int J Sports Med.* 18:354-358, 1997.
27. Loftin, M., P. Anderson, L. Lytton, P. Pittman, and B. Warren. Heart rate response during handball singles match-play and selected physical fitness components of experienced male handball players. *J Sports Med Phys Fitness.* 36:95-99, 1996.
28. Midgley, A. W. and L. R. Mc Naughton. Time at or near VO2max during continuous and intermittent running. A review with special reference to considerations for the optimisation of training protocols to elicit the longest time at or near VO2max. *J Sports Med Phys Fitness.* 46:1-14, 2006.
29. Midgley, A. W., L. R. McNaughton, and M. Wilkinson. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners?: empirical research findings, current opinions, physiological rationale and practical recommendations. *Sports Med.* 36:117-132, 2006.
30. Rampinini, E., F. Impellizzeri, C. Castagna, G. Abt, K. Chamari, A. Sassi, and S. Marcora. Factors influencing physiological responses to small-sided soccer games. *J Sports Sci*:In press, 2007.
31. Spencer, M., D. Bishop, B. Dawson, and C. Goodman. Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med.* 35:1025-1044, 2005.
32. Spencer, M., M. Fitzsimons, B. Dawson, D. Bishop, and C. Goodman. Reliability of a repeated-sprint test for field-hockey. *J Sci Med Sport.* 9:181-184, 2006.
33. Sugawara, J., H. Murakami, S. Maeda, S. Kuno, and M. Matsuda. Change in post-exercise vagal reactivation with exercise training and detraining in young men. *Eur J Appl Physiol.* 85:259-263, 2001.