

2M11.2656.2

Université de Montréal

Entraînement pliométrique intensif en période pré-compétitive

Par

Frédéric Marullo

Département d'éducation physique

Mémoire présenté à la faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maître ès Science
(M.Sc.) en Sciences de l'activité physique

Août 1998

© Frédéric Marullo, 1998



11-525-2

GV
201
U54
1999
V.001

Université de Montréal

Entretien physiologique interne en période pré-compétitive

Dr
François Larue

Département d'éducation physique



Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences
(M.Sc.) en Sciences de l'activité physique

Année 1998

Université de Montréal

Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé

Entraînement pliométrique intensif en période pré-compétitive

présenté par

Frédéric Marullo

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Président rapporteur

LÉGER, LUC

Directeur de recherche

Membre du jury

Mémoire accepté le : 13.12.1998

REMERCIEMENTS

On ne peut passer sous silence la participation active de l'équipe féminine de volley-ball de l'Université de Montréal qui a rendu possible la réalisation de ce projet. Sincère remerciement à Monsieur Jean-Pierre Chancy pour son soutien constant et son ouverture d'esprit qui ont facilité ma tâche.

Merci également à Marc Lalande et Arthur Long pour avoir mis à profit un savoir précieux, le matériel nécessaire et des données indispensables.

Enfin, un merci particulier à Luc Léger, mon directeur de recherche, pour avoir mis à contribution ses compétences dans la définition et le suivi du projet, mais surtout pour m'avoir donné la motivation et l'intérêt pour poursuivre une carrière en recherche.

SOMMAIRE

Ce mémoire est constitué de deux parties distinctes et complémentaires. La première section fait état des connaissances actuelles, telles que recensées dans la littérature, en ce qui a trait à l'entraînement pliométrique, tandis que la seconde partie présente une étude expérimentale ayant pour objectif l'analyse des différents effets d'un entraînement pliométrique intense sur les sauts verticaux d'athlètes en période pré-compétitive. En réalité, l'objectif de l'étude était double. En plus de l'analyse des améliorations obtenues aux sauts de smash et de contre au cours de ce programme d'entraînement, nous avons également tenté d'analyser l'augmentation des sauts obtenus grâce à la pliométrie de façon temporelle, immédiatement suivant le programme et après trois semaines de repos.

Lors de l'étude, on utilise les joueuses de l'équipe de volley-ball féminin de l'Université de Montréal (n=12). Le groupe expérimental (n=7) exécutera, en plus des entraînements en musculation prévus, un entraînement pliométrique en début de séance de pratique de volley-ball. Quant à lui, le groupe contrôle (n=5) se plie aux mêmes conditions d'entraînement que le groupe expérimental à l'exception des entraînements pliométriques. L'entraînement pliométrique s'effectue sur une période de 4 semaines à raison de deux séances par semaine d'environ 20 à 40 minutes chacune. En raison de la courte durée du programme, les exercices pliométriques prescrits sont d'une grande intensité.

La moyenne des améliorations pour les sauts de smash pour le groupe expérimental à la suite des quatre semaines d'entraînement pliométrique (T1 à T2), est située à 2.1 cm. Puis, après les trois semaines de repos sans entraînement pliométrique (T2 à T3), on enregistre des augmentations de 2.7 cm. Globalement, le groupe expérimental a obtenu des améliorations du saut de smash de 4.9 cm, comparativement à 1.2 cm pour le groupe contrôle. Par ailleurs, le

groupe expérimental enregistre une augmentation moyenne du saut de contre de 1.7 cm lors de la phase d'entraînement (T1 à T2) et de 2.6 cm lors de la phase de repos (T2 à T3). Pour une augmentation moyenne de 4.3 cm au saut de contre. Le groupe contrôle n'a subi aucune amélioration significative au cours de l'étude, de T1 à T3.

Les augmentations constatées lors des sauts d'attaque et de contre sont divisées en deux parties. Une augmentation suivant le programme de pliométrie (4 semaines), puis une autre augmentation, généralement supérieure à la première, lors de la période de repos (3 semaines), où aucun entraînement pliométrique n'a été effectué. Ceci supporte l'hypothèse selon laquelle l'entraînement pliométrique est un entraînement à effet retardé. Les résultats optimaux ne suivent pas immédiatement l'entraînement mais nécessite une phase de repos d'environ trois semaines, possiblement, en raison de la nature très intense d'un tel programme.

Les améliorations des sauts de smash et de contre lors de ce programme pliométrique intensif, prouvent l'efficacité d'un entraînement pliométrique intensif par rapport à l'entraînement traditionnel (groupe contrôle). La musculation et la pliométrie vont cependant de pair, l'une augmente la force musculaire, l'autre augmente la force-vitesse donc la puissance musculaire (1, 17). Une intégration complète de la pliométrie dans les programmes d'entraînements traditionnels est de mise afin d'obtenir des résultats optimaux (1, 13, 19). Le programme d'entraînement pliométrique a provoqué des effets bénéfiques chez les sujets, augmentation des tests de puissance moyenne (test de Bosco), augmentation de l'énergie élastique réutilisée par les muscles au moment du saut « counter-movement » (CMJ), augmentation de la vitesse atteinte lors de l'approche du saut d'attaque et améliorations significatives ($p < 0.05$) des performances lors du saut de smash et de contre. Par contre, le groupe contrôle obtient des améliorations minimales au saut de smash, de contre et CMJ. Une augmentation est notée au *squat jump* qui sollicite uniquement de la force musculaire, aucune augmentation n'est observée au test de Bosco.

En conclusion, l'entraînement pliométrique intense de quatre semaines a produit des résultats spectaculaires compte tenu de la courte durée de l'entraînement. De plus, en raison de la nature intense de ce type d'entraînement, les résultats optimaux apparaissent trois semaines après l'arrêt des entraînements pliométriques. Ce qui supporte l'existence d'un délai dans l'atteinte des effets maximaux d'entraînement du moins pour un entraînement pliométrique intense et court (4 semaines).

Mots-clés : -pliométrie
-Réflexe myotatique
-Énergie élastique
-Puissance (force-vitesse)
-Saut en profondeur
-Contractions excentriques et concentriques

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------|
| Page titre | i |
| Identification du jury | ii |
| Remerciement | ii |
| Sommaire | iv |
| Table des matières | vii |
| Liste des tableaux | x |
| Liste des figures | xi |
| Liste des sigles et abréviations | xii |
| Dédicace | xiii |
| Introduction générale | 1 |
| Partie I : Recension des écrits | 6 |
| Résumé de la recension des écrits | 7 |
| I. Efficacité de l'entraînement pliométrique..... | 7 |
| II. Mécanismes pliométriques..... | 9 |
| III. Caractéristique de l'entraînement pliométrique..... | 10 |
| <i>Nota bene</i> | 12 |
| PLYOMETRICS : the link between speed and strength training | 13 |
| I. EFFICIENCY OF PLYOMETRIC TRAINING | 14 |
| 1.1 Improvement on jumping performance..... | 14 |
| 1.2 Bias factors | 17 |
| 1.3 Risk of injury | 18 |
| 1.4 Different opinions on plyometrics | 19 |
| 1.4.1 opinion in favor of plyometrics..... | 19 |
| 1.4.2 opinion against plyometrics..... | 19 |
| II. PLYOMETRICS MECHANISM | 21 |
| 2.1 Biomechanics of vertical jump | 21 |
| 2.2 Mechanisms and physiological effects of plyometrics | 21 |
| 2.3 Determinant factors in plyometric contraction | 23 |
| 2.3.1 - Stretch or myotatic reflex | 23 |
| 2.3.2 - Elastic component and elastic energy of muscles | 25 |
| 2.3.3 - Neural mechanisms | 27 |

| | |
|---|-----------|
| 2.3.4 - Proprioceptive properties | 29 |
| 2.3.5 - Power output | 31 |
| III. PLYOMETRIC TRAINING | 33 |
| 3.1 Training characteristics | 33 |
| 3.1.1 - Type of jumps | 33 |
| 3.1.2 - Optimal height | 35 |
| 3.1.3 - Plyometric methods | 36 |
| 3.2 Subjects considerations | 37 |
| 3.2.1 - Subject-related factors | 37 |
| 3.2.2 - Physical preparation | 38 |
| 3.2.3 - Plyometrics for young athletes | 40 |
| 3.3 Plyometric training programs | 41 |
| 3.3.1 - Technical preparation by coaches or trainers | 41 |
| 3.3.2 - Plyometrics vs weight-training | 42 |
| Conclusion | 45 |
| Références (recension des écrits) | 46 |
| Partie II : Étude expérimentale | 51 |
| Entraînement pliométrique intensif en période pré-compétitive | 52 |
| 1. Introduction | 52 |
| 2. Méthodologie | 54 |
| 2.1 Sujets et schème expérimental..... | 54 |
| 2.2 Tests et mesures | 55 |
| 2.3 Entraînement | 60 |
| 2.4 Analyse statistique | 61 |
| 3. Résultats | 62 |
| 3.1 Mesures biométriques | 62 |
| 3.2 Variables expérimentales..... | 63 |
| 3.2.1 CMJ | 63 |
| 3.2.2 SJ | 64 |
| 3.2.3 Comparaisons des moyenne CMJ et SJ..... | 65 |
| 3.2.4 Analyse des valeurs moyennes CMJ-SJ..... | 66 |
| 3.2.5 Test de Bosco | 68 |
| 3.2.6 Saut de smash | 69 |
| 3.2.7 Saut de contre | 72 |
| 4. Discussion | 75 |
| 4.1 Analyse des mesures biométriques | 75 |
| 4.2 Analyse des mesures expérimentales | 75 |
| 4.2.1 CMJ et SJ | 75 |
| 4.2.2 Test de bosco | 77 |

| | |
|--|----|
| 4.2.3 Saut de smash | 77 |
| 4.2.4 Saut de contre | 78 |
| 5. Conclusion | 80 |
| Références (études expérimentale) | 82 |
| Conclusion générale | 84 |
| Appendices | 86 |
| Annexe A - Déroulement des évaluations | 86 |
| Annexe B - Considérations et préparations pour un entraînement pliométrique..... | 88 |
| Annexe C - Exemples d'exercices pliométriques..... | 91 |
| Annexe D - Saut en profondeur - entraîné vs non entraîné..... | 94 |
| Annexe E - Effet retardé du cycle pliométrique..... | 95 |

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux

Partie I

Table 1.1 Reported effects of plyometric and traditional training on the vertical jump of trained athletes

Table 1.2 Reported effects of various training methods on vertical jump in unskilled subjects (adapted from Adams et al., 1992).

Table 1.3 - Comparison of plyometric training for beginners and experienced

Partie II

Tableau 1.1 Synthèse du déroulement et des caractéristique des test d'évaluations

Tableau 2.1 Mesures biométriques de tous les sujets

Tableau 2.2 Données biométriques du groupe expérimental

Tableau 2.3 Données biométriques du groupe contrôle

Tableau 3.1 Counter movement jump (cm)- valeurs individuelles, moyennes et écart types des groupes expérimental et contrôle

Tableau 3.2 Squat jump (cm) - valeurs individuelles, moyennes et écart types des groupes

Tableau 3.3 CMJ-SJ (cm)- valeurs individuelles, moyennes et écart types des groupes expérimental et contrôle

Tableau 4.1 Test de Bosco - valeurs individuelles, moyennes et écart types des groupes expérimental et contrôle

Tableau 5.1 Saut de smash (cm) - valeur individuelles, moyenne et écart types du groupe expérimental

Tableau 5.2 Saut de smash (cm) - valeur individuelles, moyenne et écart types du groupe contrôle

Tableau 6.1 Saut de contre (cm) - valeur individuelles, moyenne et écart types du groupe expérimental

Tableau 6.2 Saut de contre (cm) - valeur individuelles, moyenne et écart types du groupe contrôle

LISTE DES FIGURES

Figures :

Partie II

Figure 1.1 Schéma des différents tests

Figure 3.1 Courbes comparatives des valeurs moyennes des sauts *counter-movement* (CMJ) et squat (SJ) pour les groupes expérimental et contrôle

Figure 3.2 Courbes comparatives des valeurs moyennes CMJ-SJ des groupes expérimental et contrôle

Figure 5.1 Courbes comparatives des valeurs moyennes des saut de smash pour les groupes expérimental et contrôle

Figure 6.1 Courbes comparatives des valeurs moyennes des saut de contre pour les groupes expérimental et contrôle

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

BDJ : bounce drop jump (saut en profondeur avec rebond)

CMJ : counter movement jump (saut à mouvement contré)

DJ : drop jump (saut en profondeur)

MVC : maximum voluntary contraction (contraction maximale volontaire)

SJ : squat jump (saut en position squat)

T1 : évaluation 1

T2 : évaluation 2

T3 : évaluation 3

DÉDICACE

Je dédie cet ouvrage à Marguerite Bérubé, Guy Robitaille et Camille Marullo, mes grands-parents qui ont su m'inculquer les valeurs essentielles de la vie. Je vous aimerai toujours.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le sport est un domaine qui évolue rapidement. Il semble que les athlètes soient plus costauds, plus rapides et plus forts qu'auparavant. Cette impression est probablement le résultat de plusieurs facteurs différents dont l'amélioration des techniques et des méthodes d'entraînements liés à l'avancement scientifique. Au cours des vingt dernières années, l'entraînement musculaire a connu plusieurs modifications. De nouvelles découvertes, de nouvelles techniques et une meilleure connaissance des mécanismes et des capacités physiologiques des individus ont contribué à cette évolution. La qualité et la spécialisation des intervenants dans le domaine du sport ont aussi beaucoup évolué vers un perfectionnement plus aigu des spécialistes. Cette spécialisation aidera le monde de la recherche en entraînement sportif à progresser plus rapidement vers la planification et l'application de programmes d'entraînements mieux conçus et plus complets.

Dans les disciplines sportives faisant appel aux qualités dites musculaires (force, puissance, vitesse, endurance...), l'entraînement en musculation est devenu incontournable. Un athlète ne peut plus se fier uniquement à son talent naturel. A partir d'un certain niveau de compétition la différence entre les athlètes pourrait s'expliquer, notamment, en fonction des techniques d'entraînements employées. La recherche en entraînement musculaire est donc primordiale. Le sport de compétition exige des athlètes, certaines qualités spécifiques reliées au sport pratiqué. L'endurance, la force et la vitesse sont trois qualités fortement mises à contribution lors d'épreuves sportives (selon le sport). Mais, dans plusieurs sports, les aspects physiques principalement sollicités et de façon conjointe, sont la rapidité et la force. Le fait de pouvoir déplacer des charges lourdes le plus rapidement possible (force-vitesse) constitue la puissance d'un effort. Ce type d'entraînement musculaire (pliométrie) réussit à joindre ces qualités et a la capacité d'augmenter spécifiquement la puissance musculaire d'un sujet (*Aura et Komi (1986), Aura et Komi (1987), Bobbert et al. (1986), Cometti (1988), Dvir (1985), Gollhofer et Kyrolainen (1991), Komi (1984), Komi (1986)*)).

L'entraînement pliométrique n'est pas particulièrement nouveau. Malgré la publicité récente, la pliométrie fait partie intégrante des programmes d'entraînements des athlètes depuis des années. Toutefois, l'expression « pliométrie » n'est apparue dans la littérature que depuis la fin des années 60. Le père de la pliométrie, Verhoshansky (1969), a développé le principe de ce qu'il appelait « shock training ». Les athlètes russes étaient soumis à des entraînements très intenses incluant le « shock training », ils étaient à l'avant-garde des méthodes d'entraînements physiques et mentaux, ce qui les propulsa au sommet de l'élite sportive. Depuis les vingt dernières années, certaines études scientifiques ont démontré les propriétés élastiques des muscles et leur application à l'entraînement (*Bosco et al., 1982; Aura et Komi, 1986; Ettema et al., 1990*). De plus, les recherches sur le système nerveux ont mené à l'étude du réflexe myotatique ou réflexe d'étirement (*Dvir, 1985; Hakkinen et Komi, 1985; Komi, 1984*), mécanisme primordial en entraînement pliométrique. Les exercices pliométriques utilisent ces deux mécanismes physiologiques, soit l'élasticité musculaire et le réflexe myotatique. L'amélioration des techniques et des méthodes d'entraînement ainsi que l'avancement scientifique auront permis une meilleure compréhension et application de la pliométrie. Toutefois, malgré la recherche, il y a encore beaucoup de malentendus et de controverses concernant l'utilisation des exercices pliométriques. En effet, de nombreux cas de blessures et de surentraînement ont été largement attribués, à tort ou à raison, à l'entraînement pliométrique. Ces situations ont probablement été pour une grande part la conséquence d'un manque de savoir, un manque de jugement et à l'inexpérience des différents spécialistes et entraîneurs. Car l'entraînement pliométrique est un type d'entraînement qui peut s'avérer dangereux s'il est mal prescrit, le développement d'un programme pliométrique doit être construit par un spécialiste en musculation et une personne possédant de très bonnes connaissances de la pliométrie.

L'entraînement pliométrique s'est avéré efficace comparativement aux entraînements musculaires traditionnels, particulièrement, en ce qui concerne l'augmentation de la puissance musculaire (*Adams et al., 1992; Bosco, 1985; Cometti, 1988; Clutch et al., 1983; Hakkinen*

et Komi, 1985). Le mécanisme pliométrique s'explique grâce au cycle d'étirement raccourcissement des muscles «*stretch-shortening cycle*». Pour être plus spécifique, le muscle exécute une contraction excentrique suivie de l'action musculaire contraire naturelle, la contraction concentrique. La contraction concentrique suivant l'étirement du muscle (excentrique) sera significativement plus puissante qu'une contraction concentrique seule (Aura et Komi, 1987 ; Hakkinen et Komi, 1985). Un entraînement pliométrique semble donc plus productif qu'un entraînement musculaire traditionnel (Adams et al., 1992 ; Cometti, 1988 ; Bobbert, 1990 ; Lundin et Berg, 1991). Entraîneurs et athlètes élités ont souvent une vision restreinte de la pliométrie, en l'associant exclusivement à un seul exercice : le saut en profondeur (saut à contrebas, « drop jump », « depth jump »). En réalité, bien que le saut en contrebas représente très bien le principe d'un exercice pliométrique, il existe aussi beaucoup d'autres exercices pliométriques mettant en oeuvre différents mouvements et muscles. Le saut en profondeur s'exécute de la façon suivante : l'athlète prend position debout sur une plinthe (20 à 60 cm du sol), ensuite, se laissant tomber de la plinthe, il exécute un saut en hauteur après avoir amorti sa chute. Le rebond doit être presque immédiat. Les muscles des jambes s'étirent (amortissement) puis se contractent (rebond), ainsi se produit le cycle musculaire d'étirement-raccourcissement. En vertu de sa facilité d'exécution, ce type d'exercice s'est vu attribuer le titre d'exercice pliométrique principal. Les autorités sportives ont souvent cru, à tort, que la pliométrie s'appliquait uniquement aux jambes (membres inférieurs). En fait, cette déduction est fautive, car il existe plusieurs exercices pliométriques visant l'amélioration des performances musculaires des membres antérieurs (Santos, 1987). La pliométrie est, par exemple, utilisée pour améliorer la puissance d'un lancer frappé au hockey, d'un coup de golf, d'un lancer au base-ball, d'une passe au basket-ball, d'un smash au volley-ball, d'un lancer du poids, etc. Bref, la pliométrie peut être utile à tout muscle exécutant des mouvements impliquant la force-vitesse soit, la puissance explosive.

L'entraînement pliométrique est utilisé en conjonction avec un programme d'entraînement musculaire pour produire des résultats optimaux (Adams et al., 1992, Cometti,

1988). Le saut de smash et de contre au volley-ball sont deux actions nécessitant l'utilisation de la puissance musculaire. Depuis quelques années, l'entraînement pliométrique a été incorporé aux programmes d'entraînement des joueurs de volley-ball, mais plusieurs caractéristiques et applications de ces programmes pliométriques sont encore mal comprises. L'objectif principal des joueurs s'impliquant dans un entraînement pliométrique est d'augmenter la hauteur de ses sauts de smash et de contre. Le même objectif sera retenu dans cette étude.

De nos jours, les répondants exigent des résultats immédiats, ils n'ont pas de temps à perdre. La société d'aujourd'hui, vie de façon accélérée et le temps est quelque chose de précieux. Une contrainte importante du sport de compétition consiste à obtenir des résultats le plus rapidement possible. L'entraînement pliométrique produit des résultats spectaculaires rapidement. Dans cette étude, on tente d'obtenir de bons résultats au cours une période d'entraînement restreinte (4 semaines). Le défi du sport professionnel et amateur est de planifier annuellement de bons programmes musculaires couvrant tous les aspects, et ce, en plus des entraînements techniques spécifiques au sport exercé. Moins de temps est donc consacré pour de longs programmes pliométriques. De fait, les spécialistes actuels produisent et appliquent différents programmes pliométriques courts et intenses. À cet égard, le moment opportun pour exercer un entraînement pliométrique intense semble être la période pré-compétitive en raison du besoin immédiat des performances sportives lors de la période de compétition.

Les exercices pliométriques exploitent le cycle étirement-raccourcissement des muscles squelettiques. L'étude, ci-présente, utilisera 12 joueuses de volley-ball de compétition (universitaire) en période de pré-compétition (septembre-novembre). L'étude se déroulera sur une période de quatre semaines à raison de deux séances pliométriques par semaine. Grâce à un programme comportant plusieurs exercices pliométriques intenses, on espère des augmentations significatives des sauts des athlètes. L'objectif de cette étude est d'observer des améliorations des sauts en quatre semaines.

Ce mémoire est composé de deux sections principales, soit une recension des écrits portant sur l'analyse des mécanismes et applications de la pliométrie, ainsi qu'une étude expérimentale ayant pour objectif d'évaluer les effets d'un programme pliométrique intense et bref en période pré-compétitive sur des athlètes de haut niveau.

PARTIE I : RECENSION DES ÉCRITS

RÉSUMÉ DE LA RECENSION DES ÉCRITS

La recension des écrits est divisée en trois parties: premièrement, l'efficacité de l'entraînement pliométrique deuxièmement, les mécanismes de la pliométrie et troisièmement les caractéristiques d'un entraînement pliométrique. Cette revue de la littérature analyse les différents aspects de la pliométrie que l'on retrouve dans la littérature actuelle.

L'entraînement pliométrique est un type d'entraînement intense et exigeant. Ce type d'exercices, élaboré d'abord par les Russes vers la fin des années 60, sera utilisé et perfectionné par les autres entraîneurs du Bloc de l'Est dans les années 70. *Verhoshanski* (66) est le premier chercheur à faire part, de façon écrite, de ce type d'entraînement, qu'il appelait « shock training ». En raison des relations politiques entre l'Est et l'Ouest, très peu d'études et d'informations furent transmises vers l'Amérique du Nord et l'Europe.

1. EFFICACITÉ DE L'ENTRAÎNEMENT PLIOMÉTRIQUE

De nombreuses études ont prouvé l'efficacité d'un entraînement pliométrique, pour le saut vertical, par rapport aux entraînements de musculation traditionnels (1, 13, 19). Par contre, il a été établi que des athlètes n'ayant aucune base en musculation profiteraient autant de la musculation traditionnelle que de la pliométrie (25, 46). La combinaison des exercices de pliométrie et de musculation traditionnels produits les meilleurs résultats retrouvés dans la littérature (17, 66). Les tableaux 1.1 et 1.2 (section suivante) montrent l'efficacité des entraînements pliométriques afin d'augmenter les performances du saut vertical. Les sports tels le basket-ball, le volley-ball et l'athlétisme sont des sports où les spécialistes étudient énormément les programmes pliométriques des athlètes afin d'améliorer leurs performances au saut, sprint, lancer, etc. Le niveau des améliorations au saut vertical varie de 2 cm à 11 cm selon les différentes études en fonction des différents paramètres et populations des entraînements (tableaux 1.1 et 1.2).

La pliométrie est un entraînement qualitatif, ce n'est pas la quantité d'exercices mais bien la qualité d'exécution des exercices qui importe. De plus, ce n'est pas le nombre de répétitions mais l'intensité des exercices qui prime (14, 17, 66). Un exercice pliométrique très

intense peut ne requérir que 2 à 3 répétitions pour obtenir des effets. L'élaboration et l'application de programmes pliométriques doivent se faire par des spécialistes dans le domaine afin d'obtenir un meilleur contrôle des données. Les risques de blessures sont présents comme pour tout autre entraînement physique rigoureux. Cependant, le blâme est souvent attribué à l'entraînement pliométrique (35, 38). Certes, l'entraînement pliométrique est un type d'entraînement très exigeant et dangereux s'il n'est pas exécuté correctement. De nombreuses blessures, telles des foulures de chevilles, des fractures, des périostites, des claquages musculaires peuvent être causées par un entraînement pliométrique (67). Mais la quantité de blessures directement attribuée à la pliométrie a été largement exagérée selon l'Association olympique américaine (52). Une concentration et une préparation physique appropriées, ainsi qu'un programme élaboré et encadré par un spécialiste semblent logique afin d'augmenter le ratio bénéfices/risques. L'élaboration et la planification du programme sont aussi des facteurs déterminants du ratio bénéfice/risque. Trop souvent, par exemple, un programme pliométrique est copié tel quel et appliqué sans analyse des besoins des athlètes. Ceci peut engendrer de graves blessures, car un programme doit être taillé sur mesure pour chaque groupe d'athlètes. La pliométrie est un type d'entraînement exigeant musculairement, les athlètes doivent y être bien préparés. Si un des facteurs tel l'intensité, la fréquence, la durée et le repos sont inadéquats, des conséquences graves peuvent en découler, blessure ou alors inutilité du programme pliométrique.

Il y a beaucoup d'opinions différentes au sein de la communauté scientifique et de la communauté sportive, non pas sur l'efficacité de la pliométrie, mais plutôt sur les risques engendrés par la pratique de cet entraînement (38, 67). Par contre, aucune étude scientifique ne s'est vraiment penchée sur la relation entre l'entraînement pliométrique et les blessures sportives. Pour l'instant, donc, ce ne sont que des opinions de différents spécialistes. Désormais, on admet l'efficacité de l'entraînement pliométrique sur la puissance explosive des athlètes. Cependant, il reste beaucoup à faire pour préciser les conditions optimales d'entraînement.

2. MÉCANISMES PLIOMÉTRIQUES

A première vue, le saut vertical semble être un mouvement facile à exécuter, mais, en réalité plusieurs facteurs interviennent lors de son exécution. L'impulsion atteinte dépend de plusieurs facteurs telles la force musculaire, la capacité d'utilisation de l'énergie disponible et la coordination musculaire des jambes (17). Le saut en profondeur est l'exercice-type de la pliométrie et représente bien les mécanismes impliqués dans un exercice pliométrique. L'exercice consiste à se laisser chuter d'une plinthe (boîte surélevée), amortir la chute, puis, lors du contact au sol, immédiatement, exploser vers le haut (bondir). Le principe pliométrique se nourrit du cycle étirement-raccourcissement (*stretch shortening cycle*) unique à la contraction pliométrique. Ce cycle fait intervenir deux principes de fonctionnement : la sollicitation du réflexe myotatique et l'utilisation de l'énergie élastique musculaire.

Le réflexe myotatique ou d'étirement est un réflexe monosynaptique qui répond à un étirement musculaire soudain (contraction excentrique) par une contraction concentrique sous-maximale. Le réflexe myotatique répond au stimulus par une contraction de ce même muscle et des muscles synergiques (même mouvement), et par une inhibition des muscles antagonistes (mouvement opposé) (3). Ce réflexe possède la réponse la plus rapide à un stimulus, car il est le seul vrai réflexe monosynaptique (18, 39). Lors du saut en profondeur, l'amortissement de la chute (contraction excentrique) sollicite le réflexe myotatique qui produit une contraction sub-maximale (supérieure à la contraction maximale volontaire) si le mouvement est effectué avec assez de rapidité. Cette contraction réflexe s'ajoute à la contraction volontaire et augmente le saut vertical.

Comme un élastique, un muscle étiré a tendance à se raccourcir de lui-même, la force ainsi générée s'ajoute à la contraction volontaire. C'est ce qui se passe dans le saut vertical précédé d'une flexion profonde (étirement des agonistes et entreposage d'énergie élastique) suivi du saut lui-même (restitution de l'énergie élastique). C'est grâce aux forces gravitationnelles que le muscle peut ainsi être étiré lors de l'amortissement du saut en profondeur. L'étirement musculaire provoque l'accumulation d'énergie élastique au muscle

étiré (13). Cette énergie peut être et sera réutilisée lors du rebond (68). Donc une source d'énergie additionnelle s'ajoute au mécanisme du réflexe myotatique pour produire une contraction sub-maximale suivant l'étirement du muscle (17). Cependant, le muscle étiré trop longtemps verra son énergie élastique dissipée sous forme de chaleur (2, 13, 43). On applique le principe du « touch and go » aux exercices pliométriques, tout doit s'exécuter très rapidement sinon ni le réflexe myotatique, ni l'énergie élastique ne participera au rebond et l'exercice perdra ses propriétés pliométriques.

Au cours d'un programme de pliométrie, le système nerveux s'adapte afin d'optimiser les contractions. Plus l'athlète exécute le mouvement, plus le système nerveux exécute les nombreux changements visant l'amélioration de la coordination intramusculaire, du recrutement des unités motrices et de la synchronisation des fibres (22, 29, 32).. Au cours de l'entraînement, le système nerveux reçoit un flux important d'informations venant principalement des propriocepteurs, informations qui seront utilisées afin d'optimiser les capacités musculaires (39, 64).

3. CARACTÉRISTIQUES DE L'ENTRAÎNEMENT PLIOMÉTRIQUE

Un atout important de l'entraînement pliométrique est la grande banque d'exercices disponibles. Une simple variation de mouvement, lors de certains exercices, peut créer plusieurs exercices pliométriques. Dans les exercices de sauts, on retrouve, par exemple, le counter movement jump (CMJ) : mouvement vertical partant d'une position debout; le saut en profondeur (DJ ou BDJ) qui s'exécute à partir d'une position surélevée, le rebond suivant la chute. Une simple variation de ce type de saut change la dominante (but de l'exercice) et les groupes musculaires visés par ces exercices. L'entraînement pliométrique est un entraînement spécialisé des jambes mais les principes s'appliquent aussi pour les bras (natation, tennis, baseball...) (61). La hauteur optimale lors d'un saut en profondeur est un sujet qui suscite plusieurs débats. En réalité, personne n'a encore pu scientifiquement déterminer la valeur exacte de cette hauteur optimale. Par contre, lors des études scientifiques, on retrouve les meilleurs résultats à

des hauteurs situées entre 30 et 100 cm (tableau 1.1 et 1.2). Des hauteurs supérieures à 150 cm ne sont pas très utilisées au cours des expériences afin d'éviter les blessures.

Avant toute prescription d'un programme d'entraînement pliométrique, on doit analyser le degré d'expérience et le niveau musculaire des athlètes. Avant d'entreprendre un programme intensif de pliométrie, les sujets doivent posséder une base musculaire minimale (17), car la pliométrie exerce d'énormes tensions sur les muscles (23, 29). Un athlète débutant aura un programme moins intense et plus volumineux car on doit augmenter le nombre de répétitions afin d'arriver à un niveau d'entraînement satisfaisant. Par contre, un athlète établi subira un entraînement plus intense, contenant des exercices avancés (tableau 1.3). L'opinion des experts est très diffuse au sujet de la pliométrie chez les jeunes (67). Certaines précautions devraient être prises en considération. Aucun jeune ne devrait effectuer de saut en profondeur, le stress exercé sur les membres inférieurs semble trop risqué, ce qui pourrait être dommageable surtout au niveau osseux et musculaire (14, 17, 67). Puisqu'ils sont en période de croissance et que les os et les muscles ne sont pas encore matures, des exercices pliométriques de basse intensité sont à recommander (25), car il s'agit de sauts à partir du sol. Il est généralement admis que les jeunes athlètes qui se familiarisent tôt avec les principes de la pliométrie seront généralement plus habiles pour exécuter les exercices plus tard, car ils auront déjà appris les rudiments d'un programme d'exercices pliométriques. Par contre, aucune étude scientifique ne s'est vraiment posée sur le problème sérieusement, les indications et contre-indications émises ne sont que l'opinion de différents experts.

En conclusion, le niveau des connaissances actuelles permet de confirmer un effet favorable de la pliométrie en entraînement musculaire. Les principes physiologiques de la pliométrie s'appuient sur le réflexe myotatique et l'énergie élastique musculaire, l'importance relative de ces deux facteurs n'a pas encore été définitivement établie. Une large panoplie de sports utilise l'entraînement pliométrique comme entraînement complémentaire. Il faut, à présent, établir les standards de l'entraînement pliométrique afin de faciliter son intégration et donner des outils utiles aux entraîneurs.

NOTA BENE

La recension des écrits fut rédigée sous forme d'article car cette partie a été ou sera soumise à différentes revues scientifiques et spécialisées.

Publications :

Publié :

Marullo F, (1998), Plyometrics : the link between speed and strength, Volley-Tech: The Coach, Lausanne (Swiss), **1(1)** p18-21.

Soumis :

Sports Medicine, Auckland, New Zealand.

European Journal of Applied Physiology, Berlin, Germany.

PLYOMETRICS

the link between speed and strength trainings

Plyometrics, or the use of counter movement to overload the muscular system, has regained popularity once again as a training technique. It is used to improve performance in a wide variety of sports ranging from track and field events to volleyball. The most popular form of plyometrics is depth (or drop) jumping. Depth jumping is a technique by which an athlete drops from an elevated surface and immediately upon landing on a lower surface performs a maximal vertical jump. Depth jumping is based on the concept that the energy generated in the drop from height is used to stress the legs upon contact with the landing surface rather than using a mechanical or external loads. The improvements in performance have been attributed to the myotatic or stretch reflex and the storage of elastic energy. In order to jump higher, the athlete must generate more power by increasing the strength and velocity of the muscle contraction, and that is accomplished with plyometric training. Explosive leg power is a key ingredient to maximize vertical jump performance.

Plyometrics were formally introduced and utilized by the Russians in the 70's. The father of plyometric training (66) is Verhoshanski (Russia, 1969). « *Shock training* » instead of « *plyometrics* » was then the expression used to describe this type of training. It is only in the 80's that authors like Bosco, Clutch, Chu and Komi introduced the terms « plyometrics ». Plyometrics was mostly used and developed in Eastern countries. Limited communication between Eastern and Western countries explained the delay of utilization in the latters. Eastern sports authorities did not share their expertise even amongst themselves. Some believed that any excessive rate of injuries due to plyometrics also remained secret from the West (67). Valery Borzov, the Russian athlete who won the 100 and 200m dash in the 1972 Olympics, utilized plyometric drills as a part of his training (5, 72).

I. EFFICIENCY OF PLYOMETRIC TRAINING

1.1 IMPROVEMENT OF JUMPING PERFORMANCE

For beginners, it has been proven that good traditional weight training is as effective as plyometric training to improve the vertical jump (table 1.2 : Blattner & Noble, 1979 ; Gemar, 1986). Plyometrics for athletes that have a good strength baseline, are the best way to improve the speed-strength forces and the height of vertical jump (66). A combined programs of weightlifting and plyometrics can significantly increase vertical jump ability (1, 30, 55).

Training effects of plyometrics vary from 3 cm to 11 cm for vertical jumps (table 1.1 and table 1.2) depending on the different techniques, subjects, type of jumps, duration of the experiment, etc. When the load on the muscle is too small or too great, efficiency decreases (48). This suggests an optimal loading intensity for the athlete to maximize the storage (elastic energy storage grows proportionally as the muscle stretches) and use of elastic energy (52) and stimulation of the stretch reflex. Depending on the many factors of the training program, plyometric exercises can improve an athlete's speed, agility, and power with little risk of injury (12, 30, 34). The exercise builds strength on the inside and outside of the legs so that the player's lateral and vertical movement are stronger (56, 59). This helps in keeping injuries to knees and ankles to a minimum (67). Plyometric training also helps to develop general muscular power. Finally, plyometrics are designed to work fast-twitch muscle fibers, so they can have a positive effect on quickness, speed and jumping ability (7).

Plyometrics are believed to be the link between speed and strength training (1, 14, 17, 32, 66).

Table 1.1 - Reported effects of plyometric and traditional training on the vertical jump of trained athletes

| Studies | Subjects (n) | Training | Duration, Frequency | Drop jump height (cm) | Vertical jump gain (cm) |
|-----------------------|--------------------------------|--|--------------------------|-----------------------|--|
| Adams (1992) | 48 males intermediate lifters | Gr1: squat training G2: plyometrics G3: Squat + Plyo | 6 weeks 2 times/week | 50 to 100 | Squat: 3,30* Plyo: 3,81* S+P: 10,67* |
| Keohane (1977) | 28 female figure skaters | Gr1: Drop jump Gr2: general | 6 weeks 2 times/week | 30 to 54 | Gr1: 5.8* Gr2: 0.4 |
| Clutch et al. (1983) | 16 males trained athletes | Gr1: DJ + weights Gr2: weights | 16 weeks 2 times/week | 75 to 110 | Gr1: 3.3* Gr2: 4.3* |
| Bosco et al (1981) | 16 males national athletes | Gr1: DJ + weights Gr2: weights | 25 weeks 3 times/week | n/a | Gr1: 4.8* Gr2: 1.5* |
| Bosco & Pitera (1982) | 25 males sprinters | Gr1: Plyo + jump with weights Gr2: jump with weights | 8 weeks 3 times/week | 50 to 100 | Gr1: 9.4* Gr2: -2.6* |
| Clutch et al. (1983) | 12 males weight training class | Gr1: DJ + weights Gr2: weights | 16 weeks 2 times/week | 30 | Gr1: 3,73* Gr2: -0,11 |
| Holz (1988) | 6 males college basketball | Plyometrics + weights +practice | 10 weeks 2 times/week | 40 to 80 | gain 5,07* |

* significant

Table 1.2- Reported effects of various training methods on vertical jump in unskilled subjects (from Adams et al., 1992).

Table 1. Results of studies in which skilled and unskilled jumpers were subjected to training programmes intended to improve vertical jumping ability. Studies have been ranked according to the average improvement of vertical jumping achievement (gain) in the drop jump training programme

| Reference | n | Programme | Period (weeks) | Sessions per week | Jumps per session | Depth (cm) | Gain (cm) |
|-------------------------|-----------------|-------------|----------------|-------------------|-------------------|------------|-----------|
| Unskilled | | | | | | | |
| Gemar (1986) | 12 | DJ | 8 | 2 | 30 → 44 | 30 → 40 | 1.8 |
| | 12 | WT | 8 | 2 | | | 2.3 |
| | 12 | | | | | | 0.2 |
| Scoles (1978) | 9 | DJ | 8 | 2 | 20 | 75 | 2.0 |
| | 9 | Gen | 8 | 2 | | | 0.7 |
| | 8 | | | | | | 1.0 |
| Clutch et al. (1983) | 8 | WT + DJ | 16 | 2 | 40 | 75-110 | 3.7 |
| | 8 | WT | 16 | 2 | | | -0.1 |
| Clutch et al. (1983) | 12 ^a | WT+DJ | 4 | 2 | 40 | 30 | 3.4 |
| | 12 ^a | WT+DJ | 4 | 2 | 40 | 75-110 | 3.0 |
| | 12 ^a | WT+RJ | 4 | 2 | 40 | | 2.1 |
| Ford et al. (1983) | 15 | WT+DJW | 9 | 2-3 | 45 | 60 | 4.5 |
| | 12 | Gen+DJW | 9 | 2-3 | 45 | 60 | 3.1 |
| | 23 | WT | 9 | 4 | | | 4.4 |
| Keohane (1977) | 14 | Gen+DJ+Prac | 6 | 2 → 3 | 45 | 30 → 54 | 4.7 |
| | 13 | Gen+Prac | 6 | 2 → 3 | | | 0.4 |
| Miller (1982) | 12 | DJ | 8 | 1 | 50 | 50 | 5 |
| | 12 | | | | | | 0 |
| Blattner & Noble (1979) | 11 | DJW | 8 | 3 | 30 | 86 | 5.2 |
| | 12 | WT | 8 | 3 | | | 4.9 |
| | 15 | | | | | | 0.7 |
| Brown (1986) | 13 | WT+DJ+Prac | 12 | 2-3 | 30 | 45 | 7.1 |
| | 13 | WT+Prac | 12 | 2-3 | | | 3.8 |
| Polhemus (1981) | 39 | WT+DJW | 6 | 3 | 30 | 46 | 8.1 |
| | 29 | WT+DJ | 6 | 3 | 30 | 46 | 3.0 |
| | 28 | WT | 6 | 3 | | | 2.8 |
| Steben & Steben (1981) | 40 | DJ | 7 | 5 | 12-15 | 25 | 10.0 |
| | 40 | Gen | 7 | 5 | | | 1.5 |
| Bartholomew (1985) | 11 | DJ | 8 | 2 | 23 → 62 | 50 | 10.2 |
| | 9 | DJ | 8 | 2 | 23 → 62 | 80 | 8.4 |
| | 6 | RJ | 8 | 2 | 23 → 62 | | 11.7 |

^a Subjects served as their own controls.

Abbreviations: n = number of subjects; depth = drop distance; Gen = general training programme, not focused on jumping exercises; RJ = training programme consisted of performing regular jumping exercises; DJ = training programme consisted of performing drop jumps; DJW = training programme consisted of performing drop jumps with additional weights; WT = training programme consisted of exercises with weights; Prac = practice sessions included jumping; RJW = training programme consisted of regular jumping exercises with additional weights; → indicates that the training programme was progressive; ? = unknown.

As table 1.2 shows, plyometric training in untrained athletes is as beneficial as a good weight training (1). However, as we can see from table 1.1 and 1.2, a combination of plyometric and weight training seem to be more effective than their utilization separately for some trained and untrained athletes (Adams, 1992 ; Clutch et al., 1983 ; Brown, 1986 ; Polhemus, 1981). For example, in the study of Adams (1992), squat & plyometric training resulted in a gain of 10.67 cm in 6 weeks, compared to 3.3 cm for the squat training and 3.8 cm for the plyometric training. As with the untrained athletes, trained athletes get very good results from a plyometric training compared to a more general type of training that involves non-plyometric exercises and jumps (Keohane, 1977). These studies prove that plyometric training is a type of training that could be very beneficial to the athletes if used properly. We can speculate that a closer association between the two types of training could result in better performances, if one training could complement what the other is lacking.

New evidence shows that a plyometric program is a retarded-effect type of training. This means that optimal effects of a plyometric training do not occur right after the training but after a rest period (17). Restructuring of the muscle fibers, following a muscular training, could need 2 to 10 weeks to complete (17, 31). The resting time in a plyometric program is said to be approximately 3 weeks (17). This is the result of the stressful nature of that type of training, formally named « shock training » (66). Actually this fact was and is still ignored by some researchers. Therefore, we can assume that results of some experiments would have been more spectacular.

1.2 BIAS FACTORS

An interaction can occur between different elements of a training program. For instance, subjects in some studies made 20 regular jumps to warm-up and cool-down in addition to the drop jumps in each session ; however, those warm-up jumps were not attached to the training program.. Furthermore, if an athlete executes the drop jumps and then has a 2-hour volleyball practice daily, where he constantly jumps, we can only speculate as to whether

or not this might have influenced the outcome of the drop jump training program. How can we be sure that it is the plyometric training that yields improvement and not the large number of jumps, it is important to consider the jumping skill, athletic force and background of each subject in order to have an homogeneous group. Technique must also be taken into consideration when analyzing the results.

It is important to consider whether the subjects jumped for maximum height or not and whether they performed all the jumps with both legs or some of them with only one leg. Another factor is whether a weight vest or ankle-weights were worn during the training. Plyometrics studies are difficult to analyze because of the many variables (38) such as optimal height, intensity, duration, type of jumps, quantity of jumps, etc. In fact, until now these factors are more or less controlled, which explains why most studies are published in journals with low scientific reputation.

1.3 RISK OF INJURY

Potential injuries include (but are by no means limited to) heel bruises, shin splints, meniscal damage, patellar tendinitis, and vertebral compression as well as various sprains, strains, and stress-related fractures. Some say that the sciatic conditions and even a loss of motor ability may result from plyometric training (67). All these injuries occurred during or following a plyometric training, but are plyometrics the only factor, that question remains to be answered.

If the drop distance is so high that the subjects can no longer prevent his heels from hitting the ground, high impact forces occur (11). If joints of animals are regularly submitted to impact forces, degenerative changes take place in articular cartilage and subchondal bone (52). We have to consider this to be applicable to humans and be cautious about the design of drop jumping programs. The most suitable solution is to adjust the platform at a distance where the heels will not be hitting the ground upon landing, and providing a rather soft or smooth landing surface would be appropriate (6, 52). Poor technique, hard landing surfaces, and shoes with

inadequate support are other factors that promote injuries from plyometrics. Some physicians say that the gains of plyometrics training are far outweighed by the injuries (16, 38).

Several authors explicitly mention that no injuries were caused by drop jumping (1, 19) even in studies where untrained subjects participated who received no preparatory strength training (25). Important in this context may be the precaution taken in many studies to absorb the impact of landing with gymnastic mats. A precaution too often forgotten by the average coach who just imitates another one's program this could lead to injury (15). Caution should be taken to avoid overtraining and injury. To prevent injuries, the training must be done progressively and rationally (67).

1.4 DIFFERENT OPINIONS ON PLYOMETRICS

1.4.1 - Opinion in favor of plyometrics

Some say that plyometrics are no more likely to produce injuries than any other conditioning exercise, and that includes weight lifting. J. Pat Evans, MD (team orthopedist for the Dallas Cowboys and the Dallas Mavericks), says « I probably see as many related injuries to [in-depth jumps] as from any other training drill » (67) But that is only an opinion.

Some say, that plyometrics are safe as long as the athletes don't overdo it, that is only a logic statement. Plyometrics are just one type of training that could supplement other phases of a training program (17) .A lot of studies have shown the efficiency of this type of training but few studies looked upon injuries in plyometrics (52) although, in some studies no plyometrics-related injury were noted (1, 2, 14, 23, 29).

1.4.2 - Opinion against plyometrics

Others say that plyometrics are dangerous and will do things to the body that will increase the probability of injuries during future events (67). Because of the

repetitive, ballistic nature of plyometrics exercises, the potential for traumatic injuries is extremely high. In fact, many prominent sports medicine doctors, physical therapists, and athletic trainers view plyometrics as « an injury waiting to happen ». When performing plyometrics the musculoskeletal system is exposed to extreme biomechanical loading. The muscles, bones, and connective tissue act as natural shock absorbers to dissipate the imposed stress. An injury occurs when these stresses exceed the structural integrity of a joint. The force on impact with the ground is magnified as the height of the jump increases. These concerns are only founded by their logical and theoretical ideas, but, no serious studies have proved the danger of plyometric training. It is true, that during the 80's, many athletes injured themselves during a plyometric program. Those injuries could be related to the inexperience and overtraining behavior of some trainers and coaches, who applied plyometric programs without any deep knowledge of that type of training (5, 15, 17, 35, 38, 67). This really has put the plyometric training on the wrong side of the fence in 80's. Incredible as it may seem, one internationally known plyometrics guru advocates « altitude jumps », which he describes as stepping off a box or a platform from a height of 5 to 9 feet, landing on the ground, and jumping as high as possible (67).

Some studies show that a program of strength training, combined with a program of almost any kind of regular jumping, can be as effective as plyometrics to increase vertical jump (17, 19, 38).

II. PLYOMETRICS MECHANISMS

2.1 BIOMECHANICS OF VERTICAL JUMP

At first glance, jumping seems to be a very simple task. It has been speculated that all leg extensor muscles are fully activated simultaneously to start the push-off (upward movement). Surprisingly EMG results have indicated that not even the monoarticular leg extensor muscles are fully activated right away from the start of the push-off (9, 10, 11). Instead, a complex pattern of variation in the activation levels of muscles is observed. In order to explain that pattern, the transformation of rotations of body segments into linear motion of the body's mass center was studied more closely. It was shown that anatomical and mechanical constraints play a role in this transformation. The anatomical constraint is that the angular velocity in the hip and knee joints has to be low when the joints reach full extension (2), otherwise damage might occur. The mechanical constraint is that extension of the hip and knee joints ceases to contribute to vertical acceleration of the body's mass center long before these joints reach full extension (2). So the activation pattern must be tuned harmoniously in order to achieve optimal contractions. For skilled jumpers, the movement pattern seems to ensure that the leg muscles can release as much energy as possible, while simultaneously the greatest possible fraction of this energy is used to project the mass center of the body vertically (2, 10). It is much more difficult for a beginner to utilize the maximum energy available. These results indicate that the height reached in a vertical jump depends both on the capacity of individual muscles to release energy and on the coordination of actions of different leg muscles (17).

2.2 MECHANISMS AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF PLYOMETRICS

In-depth jumping or drop jumps uses the body weight of the athlete along with the force of gravity to exert force against the ground. Those jumps are done by stepping off a box from different heights (range 0.2 to 3m approx.). Upon making contact with the ground, after amortization, the body is then moved as fast as possible upward. The key to successful

development of explosive-reactive type movement is a « touch and go » type action off the ground when performing an in-depth jump. The in-depth jump demonstrates the use of the stretch reflex. When the athlete lands on the ground, the hip extensor (gluteal muscles) and leg extensors (quadriceps) are lengthening rapidly in an eccentric type of contraction. This part of the jump is known as the amortization phase. The stretch of the muscle elicits a stretch reflex which results in a supramaximal contraction of the extensor muscles. Thus, although only a moderate amount of stretching occurs, the rate of stretching is great. The contraction resulting from the stretch reflex is greater than a voluntary contraction. The prestretch applied to an active muscle prior to a concentric contraction will have some facilitating effects on the contractile machinery of the muscle (3).

There are two ways for a subject to improve jumping performance. First, individual muscles may increase their capacity to release energy. Assuming that the distance over which muscles shorten remains the same and that the time it takes to complete a push-off is reduced, the muscles can only release more energy in order to produce a higher power output (20). The second way is to improve coordination of the actions of different muscles. That depends on the skill level of the subjects (21). Skilled jumpers are likely to have a coordination that is already close to optimal, and might benefit more from exercises aimed at increasing the power output capacity of individual muscles. For other subjects, exercises intended to improve coordination might be more advantageous. Nevertheless, plyometrics seem to achieve both of these. The output capacity is increased by the stretch-reflex and, coordination for a given task is increased by frequently repeating the task correctly (8). Muscle elasticity plays an important role in human locomotion by improving the power output in maximal effort and efficiency of locomotion. The skeletal muscle can demonstrate elastic behavior only when it is activated and simultaneously stretched prior to the concentric contraction. Because of the utilization of muscle elasticity, the stretch-shortening type of natural locomotion is more efficient than pure positive work (concentric exercise) (2). The ability to change quickly from a lengthening to a shortening contraction is the key to using the elastic structures of the muscles.

Plyometrics also enhances the tolerance of the muscle for increased stretch loads (29). This increased tolerance develops efficiency in the stretch-shortening cycle of a muscle contraction by reducing the energetic cost (2, 23). During the stretching (eccentric lengthening phase) of muscle contraction a greater amount of elastic energy is stored in the muscle. In ballistic (plyometric) types of exercises, this elastic energy is supposed to be re-used as mechanical work during the following positive work phase (concentric contraction) (44). Plyometrics also act to increase the neuromuscular system's ability to perform concentric contraction more effectively because the forces encountered in plyometric exercises may lead to greater synchronous activity of motor units and earlier recruitment of larger motor units via the myotatic/stretch reflex. This behavior of motor units differs from voluntary actions where motor units normally fire asynchronously and motor units are recruited sequentially from small-slow-twitch to large-fast twitch types (31). We may have evidence that the plyometric exercises recruits directly the fast twitch muscles (22). Hence, as Duchateau has shown, fast twitch spindles could directly be recruited with the proper charge (22). For high intensity plyometrics, it could be possible that the fast twitch muscles may be recruited first, but more research has to be done to prove that.

2.3 DETERMINANT FACTORS IN PLYOMETRIC CONTRACTION

2.3.1 - Stretch or myotatic reflex

When the muscle is stretched, so is the muscle spindle. The muscle spindle records the change in length (and how fast) and sends signals to the spine which convey this information. This triggers the stretch reflex (also called the myotatic reflex) which attempts to resist the change in muscle length by causing the stretched muscle to contract. The more sudden the change in muscle length, the stronger the muscle contractions will be (plyometric, or "jump", training is based on this fact). This basic function of the muscle spindle helps to maintain muscle tone and to protect the body from injury.

This reflex has the fastest known response to a stimulus (in this case the rate of muscle stretch). The myotatic/stretch reflex elicits contraction of the homonymous muscle (the same muscle that was stretched) and synergist muscles (those surrounding the stretched muscle which produce the same movement), and inhibition of the antagonist muscles (those which produce the opposing movement) (3). The stretch reflex is a mono-synaptic reflex, that is a direct connection from the sensory neuron to the motoneuron (63). Most reflexes involves several synaptic connections before eliciting a response. A mono-synaptic reflex has the fastest respond to a stimulus. The only true mono-synaptic reflex known is the stretch reflex (18, 39).

The stretch reflex has both a dynamic component and a static component. The static component of the stretch reflex persists as long as the muscle is being stretched. The dynamic component of the stretch reflex (which can be very powerful) lasts for only a moment and is in response to the initial sudden increase in muscle length. The explanation that the stretch reflex has two components is linked to the muscle fiber structure which includes two kinds of intrafusal muscle fibers: nuclear chain fibers, which are responsible for the static component; and nuclear bag fibers, which are responsible for the dynamic component (31).

Nuclear chain fibers are long and thin, and lengthen steadily when stretched. When these fibers are stretched, the stretch reflex nerves increase their firing rates (signaling) as their length steadily increases. This is the static component of the stretch reflex. (31).

Nuclear bag fibers bulge out at the middle, where they are the most elastic. The stretch-sensing nerve ending for these fibers is wrapped around this middle area, which lengthens rapidly when the fiber is stretched. The outer-middle areas, in contrast, act like they are filled with viscous fluid; they resist fast stretching, then gradually extend under prolonged tension. When a fast stretch is demanded of these fibers, the middle takes most of the stretch at first; then, as the outer-middle parts extend, the middle can

shorten somewhat. The nerve that senses stretching in these fibers fires rapidly with the onset of a fast stretch, then slows as the middle section of the fiber is allowed to shorten again. This is the dynamic component of the stretch reflex: a strong signal to contract at the onset of a rapid increase in muscle length, followed by slightly "higher than normal" signaling which gradually decreases as the rate of change of the muscle length decreases (31).

2.3.2 - Elastic component and elastic energy of muscles

When performing plyometrics, the athlete uses the force of gravity to store energy within the muscle structure of the body. This storing of energy is immediately followed by an equal opposite reaction, using the elastic properties of the muscle to produce a kinetic energy system. We can compare this reaction to the compression or the stretch of a spring, followed by its release. Thus, the myotatic stretch reflex of the muscle is used to produce an explosive reaction. (1, 14, 68, 70)

If a subject performed a squatting jump, and then, jumps again immediately upon landing (comparable to drop jumping), the second jump is higher than the first one. In the push-off for the second jump, the subject was able to utilize energy stored in elastic element during the downward movement (eccentric contraction) of the first jump. The total energy available for storage (referred to as E_{neg}), is equal to « $m \cdot g \cdot (h_{max} - h_{min})$ » where m is the body mass, g is gravitational acceleration, h_{max} is the height of the body's mass center (MCB) at zero velocity, and h_{min} is the height of MCB at the start of the upward movement (concentric contraction)(3). The height achieved in a countermovement jump is higher than in a squatting jump. Also it was shown that the height of two successive jumps was greater than that attained in a single counter movement jump (CMJ). It was also shown that the height of jump becomes increasingly greater if a CMJ or a jump down from a height precedes the actual jump (the height of

the platform varies from authors). From an energy point of view, the average power output during the push-off is greater in drop jump than in the CMJ. (6, 9)

A suggestion can be made that a muscle has pure mechanico-elastic properties, whose contribution to a muscle output will increase with increasing prestretch up to a certain point. It can also be hypothesized that a « maximal elastic capacity » of the muscle is 30 %-40 % of its « maximal contractile capacity » (2). In addition to pure elastic (mechanical) phenomena, the prestretch has been suggested to cause a more efficient mobilization of the chemical energy by the contractile component (3, 13, 23).

The high tension developed in plyometric contractions disappears very rapidly, because muscle stiffness and elasticity are related to the engagement/disengagement of molecular bridges between the myosin and actin filaments. When a muscle fiber is stimulated, a number of actin-myosin bridges are formed creating the stiffness in the muscle fiber which will either shorten or strongly resist to stretching. More attached cross bridges will be stretched during increasing prestretches, thus, the possibilities to utilize the muscle's elastic capacity will increase. (2) The muscle fiber loses very rapidly its tension due to the breakdown of the actin-myosin bridges. The stored elastic energy is then dissipated as heat. A rotation of myosin cross bridges heads « backward » toward a greater level of potential energy may be responsible for a portion of the calculated « work due to elasticity » value (2, 43). If a shortening contraction takes place in the muscle in the short time before the tension has disappeared completely the high tension in the previously stretched muscle will act as an elastic recoil whose force can be added to the force developed in the following shortening contraction. Thus, an appreciable fraction of external positive work performed by the muscle fiber in the stretch-shortening cycle is achieved free of cost (13). The negative work is the eccentric contraction (amortization phase of the jump) and the positive work is the concentric contraction (push-off). The muscle resembles

the rubber elastic and spring to some degree, but the energy produced by the stretched muscles must be utilized very rapidly or it will be lost.

There appears to be a difference in the storage and recoil of elastic energy in slow-twitch and fast-twitch muscle fibers. Subjects with a preponderance of fast-twitch fibers benefit more from a high speed, small amplitude of flexion prestretch, and the use of elastic energy is more proportional to the amount stored. Both type of fibers exhibited the same amount of stored elastic energy. However, this energy use was greater in slow-twitch fibers than in the fast-twitch fiber (41). This seems to indicate that slow-twitch muscle may be able to use elastic energy more efficiently in ballistic movement characterized by a relatively long and slow prestretch phase of the stretch-shortening cycle. To train the power output in a rapid movement (strength-speed) like the vertical jump, slow prestretch phase is not recommended. In a jump, slow twitch fibers are not crucial nor used greatly for the leap itself. Therefore, in plyometric exercises athletes should rebound as fast as they can upon impact with the ground (fast prestretch).

It is difficult to estimate the relative contribution of the two mechanisms (stretch reflex and elastic energy) in a plyometric contraction. Some studies showed the stretch reflex contribution to be 28 % compared to 72 % for the elastic component (13), but this is still argued.

2.3.3 - Neural mechanisms

Plyometrics allow an athlete to produce greater reactive force applied to the muscle spindles due to greater fiber recruitment and neuromuscular efficiency following a prestretch of that muscle (29). There is a close relationship between neuromuscular efficiency (e.g., multiple fiber recruitment and the facilitating the stretching reflex) and dynamic strength performance (1). Plyometrics used alone can have a significant effect in increasing hip and thigh power specific to vertical jumping. This results from

enhancing motor unit recruitment (28, 29), synchronization (28, 29) and intramuscular coordination (10, 11, 27, 28).

It was observed that stretch of an active muscle causes substantial stretch reflex potentiation via Ia afferent nerves from the muscle spindles (24, 29). This reflex potentiation with increased motor neuron activity to the contracting muscle amplifies considerably the force at the end of the eccentric phase resulting in an increase of muscle stiffness which in turn renders the condition favorable to short coupling time the prestretch event. In controlling the tension level in the muscle, the central nervous system has more control over three mechanisms (29): the number of active motor units, the firing of the motor units and the level of motor units firing during contraction. Thus mobilization and synchronization of motor units may play a decisive role in the potentiation of an eccentric-concentric sequence (43). Several mechanisms have been proposed to explain the potentiation. One of them is that during prestretch, cross-bridges heads are rotated backward to a position in which they are able to exert more force (13). It should be realized, however, that this favorable position is lost as soon as the cross-bridges detach. Even at 0° C, the average attachment time is less than 30 ms, while the enhancement due to prestretch lasts much longer (22). Thus, even if changes in configuration of cross-bridges heads occur as a result of prestretch, it is unlikely that they fully explain potentiation. Potentiation of performance in a stretch-shortening cycle has both chemomechanical (behavior of the cross bridges) and reflex (myotatic) origins. (2)

We can observe a neuromuscular adaptation occurring early in a training cycle (within the first four weeks). Plyometrics training also appears to create some adaptations in the neuromuscular function (13). The very high tension developed in leg extensor muscles during eccentric work in drop jump (DJ) conditions can lead to a strong inhibition of the following shortening contraction by the Golgi tendon organ (GTO). DJ exercise may be used to raise the firing threshold of the GTO, thereby

improving the tolerance for increased stretch loads in the muscle (14). Thus a weakening of the inhibitory effects of the GTO seems to accompany plyometrics training (hypothesis). This allows a greater loading of the muscle in the eccentric or stretch phase which increases the stored elastic energy to be re-used in the ensuing shortening contraction .

2.3.4 - Proprioceptive properties

Any mechanism which monitors body changes is a proprioceptor. Motor control is directed by the central nervous system, using sensory feedback from the proprioceptors. These receptors contribute to a person's awareness of his or her body movements, or kinesthesia (64). Proprioceptors conduct sensory reports to the central nervous system (CNS) from muscles, tendons, ligaments, and joints. Muscle receptors are proprioceptors, like Golgi tendon organs and muscle spindles, which send information to higher brain centers about muscle tension, degree of muscle shortening/lengthening, orientation, angle of joint, velocity of stretch and pressure (39). The reactive proprieties of muscle are generally due to the inherent proprioceptive reflexes and the elastic nature of muscle (48). It was suggested that the elastic component may be the most influential, but the proprioceptive reflexes can not be ignored in fast movements that use this eccentric-concentric coupling (14). The proprioceptive reflexes in motor skills generally are controlled by MS and GTO, their effects being facilitation, reinforcement or inhibition of muscle contraction (53).

The muscle spindles (MS) are widely distributed throughout muscle tissue. Each consists of intrafusal muscle fibers (IF), which do not contribute to the force of contraction, and extrafusal fibers (EF), which are responsible for the development of external tension. The IF are oriented parallel to the EF fibers within muscle tissue. Because of their position within muscle tissue, an externally applied stretch results in a distention of both IF and EF. The stretching of IF evokes a sensory discharge to the

spinal cord, causing a motor response whereby the muscle begins to contract with a corresponding inhibition of the antagonist muscle, the myotatic reflex (53). When a small stretch is imposed rapidly on a muscle, there is a sharp increase in MS firing response, which drops markedly when stretching ends. The strength of a response by the MS to stretch is determined by the rate of stretch: the greater and more quickly a load is applied to a muscle, the greater the MS firing frequency, with a corresponding stronger muscle contraction (29). If a subject executes a DJ from a high platform and jumps upon landing, the load applied is strong and the reaction time is quick, thus theoretically the force generated upon the jump would be stronger than a simple CMJ.

The GTO, unlike the MS, has an inhibitory effect upon muscle. It is located near the musculotendinous junction, where the muscle blends into the tendon. The GTO lies in series with the contractile muscle fibers and is deformed by passive stretch, but is less sensitive than the MS to such movement. Because of the GTO's position, a muscle contraction creates tension in the musculotendinous structure and may elicit a response from the receptor. During a muscular contraction, the MS ceases to fire because the EF are shortening or attempting to shorten, which may bring about a temporary unloading of the MS. The GTO, however, is stimulated in such a condition and the effect is one of inhibition. Muscles have been demonstrated to show a greater contractile force than can be structurally withstood; therefore, it may be that the inhibitory reflex initiated by the GTO is a protective measure to monitor and prevent dangerously high tension within muscle (64). Although the GTO may respond to stretch or high muscular tension, the inhibitory effect may be offset during voluntary exertion until muscle tension becomes excessive and injury becomes possible (64).

Advantages may result from spindle activity by stretching a muscle before activation. This is naturally caused by preparatory movements in the opposite direction of the anticipated movement. The slight flexion at the knee joint in jump takeoffs, or at footplant in sprinting are examples of how the leg and foot extensors are stretched and

how MS activity may be exploited to increase force of the following concentric contraction. To ensure full advantage of the stretch reflex, the muscle must be forcibly stretched so the stretch velocity is emphasized, bringing about a rapid rise in the firing frequency of the MS (29, 53).

The myoelectrical activity during the eccentric phase is controlled partly by the preactivation process, but also by the reflectory loops during the eccentric phase. The activation of the Ia-afferents from muscle spindles as a consequence of stretch is the main factor in the reflex control of the EMG activity during the eccentric muscle contraction. This increased EMG activity will improve muscle stiffness and consequently its recoil capacity, increasing elastic performance of the muscle. This is linked to the activation and the chemomechanical behavior of the cross bridges (2, 31).

2.3.5 - Muscular power output

It is speculated that part of the total energy available for storage (E_{neg}) could be stored in elastic elements and reutilized to perform work (E_{pos}) in the following push-off. We observe change in one of them when the other varies (3). The suggestion that the two should be related, however, is not correct. The amount of energy stored in series elastic elements is not a function of the amount of energy absorbed by the muscle, but is directly related to the force of the muscle (42). More energy is stored only if the force of the muscle is greater. It was already mentioned that peak values of knee and ankle joint moments during the push-off were higher during drop jumps than during countermovement jumps (CMJ) (9, 10, 42). There is a need to explain the difference of forces in the CMJ and the DJ.

The first possibility is that activation levels of knee extensors and plantar flexors are higher during drop jump. Stretching of voluntary activated muscles may evoke a spinal reflex (62) as well as a functional stretch reflex (2, 9, 14, 23, 29, 31, 32, 41).

Stretching the muscle during landing in a drop jump could influence the activation levels of these muscles, and therewith the force produced, in the subsequent push-off.

The second possibility is that the contractile machinery is able to produce a higher mechanical output during drop jumping (57). Literature supplies evidence that the mechanical power output during concentric action of tetanized skeletal muscles can be enhanced by prestretch (41). The same was found in single muscle fibers (41). The enhancement, also called potentiation, has been shown to increase with speed of prestretch and to decrease with the amount of time elapsed after prestretch (23). In drop jump, the speed of prestretch of knee extensors and plantar flexors is greater, and the delay between prestretch and concentric action is shorter than in CMJ (10, 11). Thus, a greater potentiation of the contractile machinery in DJ than CMJ could be responsible for the difference in mechanical output during the push-off phase. Also it has been noted that series elastic elements of the muscle may shorten faster in DJ than in CMJ. Thus, contractile elements may shorten less rapidly in BDJ than in CMJ. According to the force (F)-velocity (v) relationship ($P=Fv$), a larger force can be exerted at this lower shortening velocity, and this yields a higher power output (10).

III. PLYOMETRIC TRAINING

3.1 TRAINING CHARACTERISTICS

3.1.1 - Type of jumps

In general, we compare three types of jumps, all executed with maximum effort. In a *squatting jump* (SJ), the push-off starts from a static crouched position. The angle between upper and lower leg is usually around 90° (41). A *countermovement jump* (CMJ) starts from an upright position. The subject lowers the mass center of the body, as people do spontaneously when asked to jump, and then begins his push-off without any pause between the flexion and extension phases. A *drop jump* (DJ) consists of jumping down from a raised platform, decelerating the downward movement and, without stop, starting the push-off for a vertical jump (9, 18, 45).

When the subjects make a long or deep downward phase before bouncing back, they attain a greater height in the second jump than when they make a small movement. In this case however and from the force records, it is obvious that smaller or shorter vertical ground reaction forces are produced during the push-off. When asked to perform a drop jump, some subjects spontaneously choose to make a large amplitude movement after landing from the drop (countermovement drop jump, CDJ), whereas others prefer to make a small amplitude movement (bounce drop jump: BDJ) (9). Since the choice of drop jump technique appears to influence the magnitude of differences between drop jumps and countermovement jumps (CMJ), a more controlled study was conducted in which each subject performed CMJ as well as CDJ and BDJ from a drop height of 20 cm (10). At a height of 20 cm, the results appeared to be better than at a height of 10 or 30 cm (10). In drop jumping, the body's mass center has a downward velocity at the instant of landing. After the touch-down the subjects are forced to continue in this direction by flexing their joints (50). In this phase higher knee flexing and ankle dorsiflexing velocities occur than during CMJ. In BDJ only a small

downward movement occurs, thus the push-off phase takes less time than in a CMJ or CDJ (10). This means that hip flexion, knee flexion and dorsiflexion velocities are decelerated quickly, and simultaneously only a short time elapses between the instant at which peak prestretch speeds of muscles are reached and the start of concentric muscle action. The result is that knee extending and plantar flexing moments (acceleration) at the start of the push-off are larger during BDJ than during CMJ. Hip extending moments (acceleration), however, are smaller in BDJ. Also, inherent to BDJ is a body posture at the start of the push-off, which is completely different from that in CMJ. The differences in initial joint moments and posture carry over into the push-off. That is, the pattern of joint moments, joint power and joint rotation during the push-off in BDJ is very different than in CMJ. It can be derived that the average vertical acceleration and maximal vertical acceleration during the push-off phase is higher in BDJ than in CMJ (10). As far as performance is concerned, this pattern seems inferior to that of CMJ, because a smaller jump height is reached in BDJ than in CMJ (2), but in reality the forces applied at the push-off onto the muscles are much more intensive in the BDJ than in CMJ (9).

If we now allow the subjects of the BDJ to make a larger downward movement upon landing (CDJ), the outcome is a jump standing midway between BDJ and CMJ. The effects of prestretch are less pronounced than in BDJ, as more time elapses between the instant at which peak prestretch speeds of muscles are reached and the start of concentric muscle action (2). Body posture at the start of the push-off is essentially similar to that in CMJ, pattern of joint moments, joint power and joint rotation more closely resembles that in CMJ, and jump height is inferior to that of CMJ (9). In this context, it should be realized that technique variants other than CDJ and BDJ are possible in drop jumping .

For more plyometrics-type of jumps or plyometrics exercise refer to Chu and others (17, 36, 37, 40, 54).

3.1.2 - Optimal height

The distance of the drop is one of the factors that can easily be changed. Several studies mention that jump height varies with drop distance, and that an optimum exists. In order to explain why a further increase in drop distance above the optimum is detrimental, it is assumed that inhibitory reflexes occur because Golgi-tendons organs are triggered by excessively high muscle forces (6). However, some argue that this is not the explanation (26), it would be a variation of jumping technique. If drop distance is increased and jumping technique is not controlled, subjects are likely to make a larger downward movement upon landing. It will shift from a BDJ to a CDJ (10, 14). If jump technique is controlled, on the other hand, it is said that no difference occurs between a drop distance of 20cm and one of 60 cm in joint moments, power output or jump height (6, 11). After landing from a 60cm-height, the peak force amplitude is estimated at eight times body weight at the ankle joint surface (11).

In order to establish the height at which drop jumping would provide the greatest strength gains, subjects were to execute a DJ without rebound (just eccentric contraction) from a height as high as 3.2 m. Not surprisingly 3.2 m DJ training provided the greatest strength gains (67). Also it was noted that this type of training required higher encouragement from the investigators in order to complete those jumps (no wonder why!).

Studies have indicated that heights from 0.5 to 3.2 meters have been effective in increasing muscular strength and motor performance of the vertical jump (44). For the highest power output exerted at the pushoff during a drop jump, optimal drop height was 0.5 and 1.0 m (6, 44) but it remains to be shown whether the same heights are optimal for training as well. As for the optimal stretch to stimulate the optimal myotatic reflex to obtain a contraction superior to the maximal voluntary contraction (MVC), we have no study available yet. Clutch (46) and Bosco (14) concluded that heights less than 0.8 m might be best for children and novices, whereas heights equal to

or greater than the 0.6 to 1.0 meter range might be most effective for mature athletes. In order to access rapidly and take advantage of high-intensity plyometrics, the athlete should have a good weight-training baseline. Drop distance may not be that crucial, there is a scale to respect but minimum variation of 5 to 10 cm can be tolerated (6, 48). As table 1.2 shows, the optimal height for a drop jump is not necessarily the highest drop jump that an athlete can do correctly. Bartholomew (table 1.2) showed that a drop jump of 50 cm produced more effective results (gain of 10.2 cm) than a 80-cm-drop jump (gain of 8.4). Similarly Clutch (19) found that a 110 cm depth produces less satisfying results (+3 cm) than a 30-cm-drop jump (3.4 cm). If the height of the drop is too high, the efficiency is reduced (6, 17, 19). Optimal height and good technique help to obtain maximal power output and to stimulate efficiently the stretch reflex.

3.1.3 - Plyometric methods

Plyometrics apply to any exercise or jumping drill that uses the myotatic, or stretch reflex of a muscle. Some coaches say that all plyometrics, like all good muscular training programs, should begin with low impact plyometrics, for example walking plyometric movement. The next stage are lunges and « duckwalks » (stretching the muscles) in combination with weight training. This helps developing muscular qualities needed for a good plyometric training. This period could last at least two months. Coaches standards recommend that the height of the depth jump is set according to two factors: first the strength of the athlete as proven in the weight room, and second, the athlete's frame. A light-framed athlete may do higher drop jumps than a heavier-framed athlete, because of the force applied to muscles, height of jumps must be monitored closely. It seems that Verhoshanski (66) had a logical argument in stating that all exercises have their own place in the training of jumping ability, the order being regular jumping exercises, weight-training exercise and finally drop jumping.

The higher-intensity plyometrics are done only during the conditioning and pre-competitive periods, with moderate plyometrics performed during the competitive season (33). Because of the stress and forces applied to muscles in plyometric exercises, it is essential to prepare the muscles for these type of intense contractions. The duration of the training period doesn't seem to be critical, but varies randomly from 4 to 16 weeks (5). Although gains in jumping are often dependent on the number of drop jumps per week, some studies reported considerable improvements in jumping performance with relatively few drop jumps per week (table 2).

It is not a good idea to use ankle weights, barbells, dumbbells or weighted vests. If extra weight is used, the body loses its true kinesthetic sense, and the exercise can become very dangerous (67). Additional weight could stretch the muscles too much and provoke injuries. Logically, any muscular training methods overused are dangerous.

3.2 SUBJECTS CONSIDERATIONS

3.2.1 - Subject-related factors

There are two major subject-related factors to take into account : the skill in jumping and the weight-training history (8). In trained athletes, both the number of jumps per session and the number of sessions per week seem to be crucial factors to a plyometric program (1, 12, 17). Unfortunately, the situation is not so clear with unskilled jumpers : none of the variables seem to show a specific order (table 1.2).

For skilled jumpers who are not used to weight-training, weight-training is just as effective as drop jumping (19). This is also true for young athletes starting a weight-training program (8). Drop jumping is more effective for skilled jumpers with previous experience with a weight-training programs than the traditional training program with weights only (13). For unskilled jumpers who have no weight-training history, the

effects of simultaneously combining regular jumping exercises, weight-training exercises and drop jumping are additive (19). Some experts say that heavier athletes should avoid high-intensity plyometrics, such as in-depth jumps set too high, and use modified exercises instead (43).

Table 1.3 - Comparison of plyometric training between beginners and experienced

| Characteristics | Trained | Untrained |
|---|--|--|
| training focus plyometrics level intensity program type of exercises results | quality intermediate (DJ) moderate to high short and intense specific exercises very good | volume beginner (bounces) low long and frequent general exercises spectacular |

N.B.: Weight training is as effective for the untrained athlete

In all jumping conditions in Komi and Bosco (1978), the men jumped higher than women. However, examination of the utilization of elastic energy indicated that female subjects were able to utilize most of the energy produced in the pre-stretched phase in countermovement jumps (40). Similarly, in drop jumping, the overall change in positive energy over the squat jump condition was higher in women as compared to men. According to the researchers, these results suggest that although the leg extensor muscles of the male subjects could sustain much higher stretch loads, the female subjects may be able to utilize a greater portion of the stored elastic energy in jumping activities (65). Explanations are still unknown.

3.2.2 - Physical preparation

As table 1.2 shows, a lot of studies proved that for unskilled jumpers (untrained) a weight training program is as good as a plyometric program (Gamar, 1986; Blattner & Noble, 1979 ; Polhemus, 1981). For untrained subjects, the weight or the plyometric training helps to develop strength qualities. Without a strength baseline

it will be difficult for a subject to perform correctly and efficiently the plyometric movement as it is speed and strength combined. We can also stipulate that plyometric training has better results than general training involving many jumps as table 1.2 shows (Scoles, 1978 ; Keohane, 1977 ; Miller, 1982 ; Steben & Steben, 1981). The difference is staggering : a 10 cm gain with plyometrics drop jumps versus a mediocre 0.7 to 1.5 cm gain with general and practice exercises. Furthermore, as table 1.2 shows, in reuniting both weight training and plyometric training, the results obtained are far more satisfying than using both trainings individually (Clutch et al., 1983 ; Ford et al., 1983 ; Brown, 1986). We can also see better gain if a weight is attached during the drop jumps (Polhemus, 1981) but that is unsound, some would say, because of the untrained factor of the subjects the risk of injuries is relatively high in that case (25, 32, 52).

According to some trainers and researchers, the athlete must be able to do a full squat with two times his body weight (17, 18) in order to perform intensity jumps (drop jumps). However, this theory hasn't really been prove scientifically. This is an arbitrary measure. Without this strength base the risk of injury is very high (66), as Verhoshanski has seen over the years. There are several other unproved strength guidelines invented by some experts (7). Furthermore, even before attempting the basics, the athlete should be able to do a standing long jump correctly, do multiple squat thrusts, in a sense control his own body weight (67). If an athlete can not control his own body weight, chances are that plyometric exercises will be difficult to execute correctly and effectively.

Plyometrics must be cycled properly into a complete conditioning program. Verhoshanski still advocates that advanced plyometrics should be introduced only after the athlete is able to do parallel squat 1½ times his body weight (66).

3.2.3 - Plyometrics for young athletes

There are some concerns about the use of plyometrics with prepubescent populations because of the stress placed on developing joints involved in various exercises (15, 25, 46, 67). Young athletes are prone to trauma because their musculoskeletal systems are relatively immature. The epiphysal plates of their long bones haven't fused yet, making the head and neck of the femur especially vulnerable (46). Plyometrics may also aggravate Osgood-Schlatter disease, a bone defect in the *tibialis* (overgrown *tibialis*) during growth, this disease normally heals after puberty. This defects appears in 10 to 15 years old boys (67). It is very important to consider maturity of the athletes. If they have active growth plates it would be foolhardy to attempt advanced plyometrics. A strength base must be built before going beyond beginning plyometrics, such as jumping ropes (15, 25). Although not many scientific studies have been completed to study the effect of plyometric in young athletes, this is a rational deduction that high intensity plyometrics should be avoided by young subjects.

Research has shown that children are unable to express large amounts of eccentric force. This can be explained by the immaturity of the central nervous system (CNS) and the fact that threshold for activation of the Golgi tendon organ is low (29). The effect is that the proprioceptive feedback mechanism operates to protect the body against high stretch loads to prevent injury. This is especially true at an age when muscle and bones have not yet reached maturity. The ossification and overall maturation process continue during puberty. It was found that children are unable to tolerate even moderate stretch loads (14). The focus should be on developing proper nerve patterns on which to base more complex training once the athlete is mature (15).

The key to prescribing plyometric exercise to children and any young adult is lower intensity (amplitude of the jump or decreased load) and fewer repetitions (25). Thus, young beginners should be placed on a limited program of plyometrics in their

first year of training and they must acquire a strength baseline before advancing into plyometric exercises (7).

3.3 PLYOMETRIC TRAINING PROGRAMS

3.3.1 - Technical preparation by coaches or trainers

The real danger in plyometrics is to imitate another coach's program without understanding what he or she is doing. Other programs might not be adequate for some athletes (51). High level plyometrics can be traumatic and should be prescribed by a qualified strength and conditioning specialist (67).

Question to answer before starting plyometrics (67)

- 1-What is the athlete's maturity level ? Does he have active growth plates ? Is he coordinated enough to perform the drills correctly ?
- 2-Has the athlete the needed levels of strength and maturity ?
- 3-Has he learned the techniques properly ?
- 4-Is the workout executed when the athlete is fresh ?
- 5-Is enough warm-up time provided ?
- 6-What is the duration of the workout ? What is the weekly frequency ?
- 7-Is a safe landing surface used ?
- 8-Are correct shoes being worn ?
- 9-Does the athlete know how to land properly ?
- 10-Is qualified supervision provided ?
- 11-Is the program adapted specifically to this athlete ?

What a coach must learn is how to safely incorporate additional sports-specific plyometric exercises into athlete's training program (67). Two factors often overlooked in planning plyometric programs, are a preparation phase of high-volume weight training (i.e. many repetitions) and a good strength base (67). The most efficient and safe way for a coach to prepare and apply plyometrics, is to take it one step at the time, from regular jumps, to weight-training and finally to a drop jump training program (46).

A coach or trainer should be closely monitoring the athlete's response to training intensity, which is progressive from cycle to cycle.

3.3.2 - Plyometrics vs weight-training

A plyometric program is much easier to do, with only two training sessions per week compared a to 3-4 sessions for weight training. The equipment is less expensive and is easy to build compared to the expensive and heavy weights. Plyometric training is a type of training that can be executed anywhere, even outside, which is rarely the case for weight training.

Plyometrics provide an overload to the musculature in a way which is different from weight training. Body weight accelerated by gravity provides a force and velocity which exceeds that of machine or free weights and also simulates actions present in many jumping, sprinting and throwing activities. This specificity in training is a necessary component for teaching the neuromuscular apparatus to respond more quickly and forcefully (7, 53).

Plyometrics is a speed-strength training, a combination of strength and speed. This can also be interpreted as training for « explosiveness » or power, the quality to build strength in the shortest amount of time (53).

To develop the speed, quickness, explosiveness as needed in each event, it is necessary to train in this manner. There are, however, many coaches who disagree with this concept. They believe that the key to success is greater and greater strength. But one must realize that in order to gain greater strength you must use heavier weights and fewer repetitions (in the one-to-four range). However, working in this type of muscle contraction regime develops slowness, not quickness and speed. The reason for this is simple, when heavy weights are lifted the movement is slow (19). To produce maximum speed, lighter weights are needed. However, these weights do not develop

strength. Also, greater strength can bring about greater mass which can be a negative to increase speed.

That does not deny the fact that when an athlete undergoes a weight training program for the first time or after a long lay-off, the increased strength will result in greater speed, quickness and explosiveness. But, this effect levels off. As an athlete attains greater and greater amounts of strength, the athlete may become slower. This is a natural consequence of the nervous system learning to adapt to slowness (35, 66).

From a physiological point of view, speed must involve the white fast-twitch muscle fibers, of which there are three types. The IIB is the fastest and most explosive. It comes into play only when you train at 100 % intensity and at maximum speed. However, it runs out of fuel after ten seconds of continuous effort. Thus, this is the fiber that must be developed to its maximum. However, the only way to develop this fiber is through maximum speed, explosive type movements (17). It can not be developed through pure strength training. When doing the usual weight training the white fibers are involved, but usually type IIA and IIC are predominant. Also the slow training for an extended period, recruits more red fibers which are slow in their contraction regime (35). They are important mainly in the endurance events. However, more and more strength is needed in all events. Plyometrics can also be used for the upper-body training with the use of a medicine ball (61) or exercises such as explosive push-ups where an athlete lands on his hands and immediately upon landing performs a push-up that will elevate him off the ground and so on (35).

Weightlifters perform a lot of strength-speed training (plyometrics), and actually, they are the fastest athletes in the world. They can keep up with world class sprinters in the first few yards (35).

Specificity of training is of the utmost importance today. Anyone can go out and lift some weights and become strong but this does not mean that the athlete will be a better one in a specific event. Because of this, exercises must be created to:

- duplicate the exact technique seen in event
- duplicate the exact range of motion
- duplicate the exact type of muscular contraction regime (eccentric, concentric, isometric, explosive, etc.).

CONCLUSION

A muscle forcibly stretched before a contraction uses the stretch reflex to activate the muscle to shorten vigorously, and the elastic nature of the muscle fibers allows the muscle to store energy during the negative work (amortization), to be released during the overcoming phase or shortening contraction. It may seem sensible to attribute this improved performance to the effects of the stretch reflex and the use of elastic energy. This type of contraction is the base of a plyometric exercise. The key is that the strength must be converted to speed or developed in a speed type workout. To achieve that goal many coaches use plyometrics training, which is an effective way and can be considered a form of speed-strength training.

Plyometrics training is widely used in strength training programs even though the mechanisms are not completely understood. Though there are contradictory findings and opinions, the use of plyometrics is theoretically sound and is supported by some research. Because of its nature, however, it must be strictly monitored to protect the athlete and allow for adaptation through well designed progressions. One of the most important factors for safety is the preparation of the plyometrics training program, this must be done by someone with a full understanding of the implications of these exercises.

Plyometric training is a complementary training to weight training and their combination provokes spectacular results. Coaches should prepare their athletic program in function of both types of training. Many parameters of the plyometric training are still unknown or difficult to access and more studies should evaluate these factors now that plyometrics is a much used muscular power training.

RÉFÉRENCES (RECENSION DES ÉCRITS)

- 1-Adams K, O'Shea JP, O'Shea KL, Cleimstein M, (1992), The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production, *J. Applied Sports Sciences Res.*, 6: 36-41.
- 2-Aura O, Komi PV, (1986), Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise, *International J. Sports Medicine.* , 7(3): 137-143.
- 3-Aura O, Komi PV, (1987), Coupling time in stretch-shortening cycle: influence on mechanical efficiency and elastic characteristics of leg extensor muscle, In: B. Jonsson (ed.), *Biomechanics X-A*, Champaign, Illinois, Human Kinetics, p 507-511.
- 4-Ball, R, (1987), The plyometric box, *National Strength Conditioning Association Journal*, 9(6): 79-80.
- 4'-Bartholomew SA, *Plyometrics and vertical jump training*. M.A. thesis, University of North Carolina, Chapel Hill, 1985.
- 5-Bobbert, M.F, (1990), Drop jumping as a training method for jumping ability, *Sports Medicine*, 9(1), 7-22.
- 6-Bedi JF, Cresswell AG, Engel TJ, Nicol SM, (1987), Increase in jumping height associated with maximal effort vertical depth jump, *Res. Quarterly Exercise Sport*, 58(1): 11-15
- 7-Bielik E, Chu DA, Costella F, Gambetta V, Lundin P, Rogers R, Santos J, Wilt F, (1986), NSCA Roundtable: Practical considerations for utilizing plyometrics, part 1, *National Strength Conditioning Association Journal*, 8(3): 14-22.
- 8-Bielik E, Chu DA, Costella F, Gambetta V, Lundin P, Rogers R, Santos J, Wilt F, (1986), NSCA Roundtable: Practical considerations for utilizing plyometrics, part 2, *National Strength Conditioning Association Journal* , 8(4): 14-24.
- 9-Bobbert M.F, Mackay M, Shinkelshock D, HulJing PA, Van Ingen Schenau GJ, (1986), Biomechanical analysis of drop and counter-movement jumps, *European J. Applied Physiology.*, 54(6): 566-573
- 10-Bobbert MF, Huijing PA, Van Ingen Schenau GJ, (1987), Drop jumping 1 : The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping, *Medicine Science Sports Exercise.*, 19(4): 332-338.
- 11-Bobbert MF, Huijing PA, Van Ingen Schenau GJ, (1987), Drop jumping 2: The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping, *Medicine Science and Sports Exercise*, 19(4): 339-346.
- 12-Borkowski, J. L, (1990), *Plyometrics and progress: a case study*, *Coaching Volleyball*, 3(4): 2930.

13-Bosco C, Komi PV, Pulli M, Pittera C, Montoney II, (1982), Considerations of the training of elastic potential of human skeletal muscle, *Volleyball Technical Journal*, 1(3): 75-80.

14-Bosco, C, (1985), Stretch shortening cycle in skeletal muscle function and physiological considerations on explosive power in man, *Atleticastudi*, 16(1), 107-113.

15-Brzycki, M, (1988), Guest opinion: The plyometric controversy, *International Gymnast*, 30(10): 36-37.

16-Burr J, Young L, (1989), Plyometrics: is it worth it?, *Sportsmed News*, april, p. 12-13

17-Cometti G, *Les méthodes modernes de musculation, Tome I : Données théoriques, Compte-rendu du colloque de novembre 1988, UFR STAPS Dijon.*

18-Chu D, Plummer L, (1984), The language of plyometrics, *National Strength Conditioning Association Journal* , 6(5): 30-31.

19-Clutch D, Wilson M, McGovyn C, Bryce GR, (1983), The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump, *Res. Quart.*, 54: 5-10.

20-Duda, M, (1988), Plyometrics: a legitimate form of power training, *The Physician and Sports medicine*, 16(3): 212-216, 218.

21-Duke S, Ben Eliyahu, (1992), Plyometrics: optimizing athletic performance through the development of power as assessed by vertical leap ability - an observational study, *Chiropractic Sports Medicine*, 6(1): 10-15.

22-Duchateau J, (1991), Contribution à l'étude des mécanismes physiologiques des effets de l'entraînement sur la contraction musculaire, Thèse de Doctorat en éducation physique, Université libre de Bruxelles, 210 p.

23-Dvir Z, (1985), Pre-stretch conditioning: the effect of incorporating high vs low intensity pre-stretch stimulus on vertical jump scores, Part 2, *Australian Science Medicine and Sport*, 17(2): 15-19.

24-Ettema GJC, Van Soest AJ, Huijing PA, (1990), The role of series elastic structure in prestretch induced work enhancement during isotonic and isokinetic contractions, *J. Experimental Biology.*, 154. 121-136.

25-Gambetta V., (1989), Plyometrics for beginners basic considerations, *New Studies in Athletics*, 4(1) :61-66.

26-Gollhofer, A. (1987), Innervation characteristics of m. Gastrocnemius during landing on different surfaces, In: B. Jonsson, ed. *Biomechanics X-B*, Champaign, Illinois, Human Kinetics, p 701-706.

- 27-Gollhofer A, Komi PV, Miyashita M, Aura O, (1987), Fatigue during stretch-shortening cycle exercises : changes in mechanical performance of human skeletal muscles, Part 1, *International J. Sports Medicine*, 8(2) :71-78.
- 28-Gollhofer A, Komi PV, Miyashita M, Aura O , (1987), Fatigue during stretch-shortening cycle exercises: changes in neuromuscular activation patterns of human skeletal muscles, part 2. *International. J. Sports Medicine*, 8 (supp): 38-47.
- 29-Gollhofer A, Kyrolainen H, (1991), Neuromuscular control of the human leg extensor muscles in jump exercises under various stretch-load conditions, *International J. Sports Medicine*, 12: 34-40.
- 30-Goss, K, (1987), Plyometrics: producing dramatic results on court, *Coaching Women's Basketball*, 1(2): 10-13.
- 31-Guyton C, Hall JE, *Textbook of Medical Physiology* (ninth edition), W.B. Saunders Company, chapters 6-54-84, 1996.
- 32-Hakkinen K, Komi PV, (1985), The effect of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises, *Scandinavian J. Sports Science*, 7:65-76.
- 33-Hennessy, L, (1990), Plyometrics: important technical considerations, *Athletics Coach*, 24(4): 18-21.
- 34-Holtz J, Divine J, McFarland C, (1988), Vertical jump improvement following preseason plyometric training, *J. Applied. Sports Science Res.*, 2(3): 59.
- 35-Horrigan J, Shaw D, (1989), Plyometrics: think before you jump, *Track and Field Review*, 89(4) : 41-43.
- 36-Javorek, I, (1989), Plyometrics, *National Strength Conditioning Association Journal*, 11(2): 52-57.
- 37-Javorek, I, (1991), Sand boxes (sand stairs) and their use in developing explosive response *National Strength Conditioning Association Journal*, 13(5): 84-87.
- 38-King, I, (1990), Plyometrics - what the critics say, *Sports Specific*. No. 6: 7.
- 39-Kendel C, *Principles of Neural Science*, , Michigan (USA), Appleton & Lang edition, 1994.
- 40-Komi P.V, Bosco C., (1978), Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women, *Journal of Applied Physiology*. 24(1): 21-32.
- 41-Komi, P.V, (1984), Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed, In: R.L. Terjung (ed.), *Exercise and Sport Science Reviews*, Lexington, Collamore Press, 12. 81-121.

- 42-Komi, P. V, (1986), The stretch-shortening cycle and human power output, In: Human Muscle Power, Jones, McCartney, McComas, eds. Champaign, Illinois, Human Kinetics, p. 27-36.
- 43-Koutedakis, Y, (1989), Muscle elasticity - Plyometrics: some physiological and practical considerations, *J. Applied. Res. Coaching Athletics.*, 4(1): 45-49.
- 44-Lundin, P, (1985), A review of plyometric training, *National Strength Conditioning Association Journal*, 7(3): 69-74.
- 45-Lundin, P, (1986), Utilizing plyometrics, *Modern Athlete and Coach*, 24(3): 7-10.
- 46-Lundin, P, (1987), Plyometric training load for youths and beginners, *Track Technique*, 101:3211-3213,3218, fall.
- 47-Lundin, P, (1989), A review of plyometric training, *Track and Field Quarterly Review*, 89(4): 37-40.
- 48-Lundin P, Berg W, (1991), A review of plyometric training, *National Strength Conditioning Association Journal* , 13(6): 22-30.
- 49-McNaughton, L, (1988), Plyometric training exercises for team sports, *Sports Coach*, 11(2): 15-18, jul -sep.
- 50-National Strength Conditioning Association Journal, (1987), Depth jumps, 9(5): 60-61.
- 51-National Strength Conditioning Association Journal (1987), plyometric Training: Lincoln, Nebraska, Plyometric Training: coaching and developing explosive power for sport, Lincoln, Nebraska, (video cassette).
- 52-Newton RU, Wilson GJ, (1993), Reducing the risk of injury during plyometric training: the effect of dampeners, *Sports Medicine Training and Rehabilitation.*, 4: 1 -7.
- 53-O'Connel A, Gardner E. *Understanding the Scientific Bases of Human Movement.* Baltimore, MD : Williams & Wilkins. pp 193-209.
- 54-Phillips, E, (1990), Plyometrics for rugby, *Sports Coach*, 13(3): 11-13.
- 55-Polhemus, R, (1981), Plyometrics training for the improvement of athletic ability, *Scholastic Coach*, 51(4): 68-69.
- 56-Radcliffe, J, (1988), Producing power through plyometrics, *Coaching Volleyball*. 1(2): 12-15, dec-jan.
- 57-Radcliffe JC, Farentinos PC, (1985), *Plyometrics: explosive power training*, 2nd edition, Champaign, Illinois, Human Kinetics Publishers Inc.

58-Radcliffe JC, Farentinos PC, (1985), Plyometrics: explosive power training for every sport, (video cassette), Champaign, Illinois, Human Kinetics Publishers Inc.

59-Reid, P, (1989), Plyometrics and the high jump, *New Studies in Athletics*, 4(1): 67-74.

60-Sale, D, (1985), Plyometrics. A collection of papers from the 6th Annual Sports Physiotherapy Symposium on Muscle Strengthening, Canadian Physiotherapy Association, Winnipeg, Canada.

61-Santos, J, (1987), Increasing throwing speed through upper body plyometrics, *Track and Field Quarterly Review*, 87(3): 29-33.

62-Schmidtbleicher D, Golihofer A, Frick U, (1988), Effects of a stretch-shortening typed training on the performance capability and innervation characteristics of the leg extensor muscles, In: *Biomechanics XI-A*, G. De Groot et al. Eds. Amsterdam, Free University Press, p. 185-189.

63-Steben RE, Steben AH, (1981), The validity of the stretch-shortening cycle in selected jumping events, *J. Sports Medicine and Physical Fitness*, 21(1): 28-37.

64-Schmidt R, (1988), Motor control and learning, Champaign, IL : Human Kinetics. p 193-204.

65-Thomas, D.W, (1988), Plyometrics: more than the stretch reflex, *National Strength Conditioning Association Journal* , 10(5): 49-51.

66-Verhoshanski, V, (1967), Perspective in the improvement of speed-strength preparation of jumpers, *Review of Soviet Physical Education and Sports*, 4 (2), 28-39.

67-Wikgren, S, (1988), The plyometrics debate, *Coaching Volleyball*, 1(5): 8-12,june\july.

68-Wilson GJ, Elliot BC, Wood GA, (1990), The use of elastic energy in sport, *Sports Coach*, 13(3): 8-10.

69-Wilson GJ, Elliot BC, Wood GA , (1991), The effect on performance of imposing a delay during a stretch-shorten cycle movement, *Medicine Science and Sports Exercise*, 23(3): 364-370.

70-Yessis M, Hatfield F, (1986), Plyometric training: Achieving power and explosiveness in sports, California, Fitness Systems Ed., 5-36.

71-Young W, Marino W, (1985), The importance of bounding in the jumping events, *Modern Athlete and Coach*, 23(2) : 11-13.

72-Zanon, S, (1989), Plyometrics: past and present, *New Studies in Athletics*, 4(1): 7-17.

PARTIE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

ENTRAÎNEMENT PLIOMÉTRIQUE INTENSE EN PÉRIODE PRÉ-COMPÉTITIVE

1. INTRODUCTION

La pliométrie fait partie de nombreux programmes d'entraînement. Son efficacité est déjà démontrée (*Bosco, 1985b ; Bosco, 1985c ; Cometti, 1988, Lundin & Berg, 1991*) mais il faut préciser davantage les standards d'entraînements afin de maximiser les performances et de minimiser les blessures. Cette étude propose de vérifier l'efficacité d'un programme court et intense de pliométrie d'une durée de quatre semaines sur des athlètes universitaires en période pré-compétitive. L'objectif principal de cette étude est d'augmenter de façon significative les performances au saut de smash et au saut de contre des athlètes durant la période pré-compétitive afin d'avoir des hauteurs de sauts plus élevées durant la période de compétition.

Plusieurs études ont démontré les effets bénéfiques de la pliométrie sur des périodes d'entraînement variant de 6 à 25 semaines (tableau 1.1 et 1.2, *cf*: Recension des écrits). Notre étude tentera d'obtenir des résultats favorables sur les sauts de smash et de contre des athlètes en seulement 4 semaines d'entraînement. Aucune étude n'a tenté d'obtenir des résultats sur une période courte de 4 semaines à la suite d'un programme d'entraînement pliométrique. À la suite du programme d'entraînement les sujets auront une phase de repos, où aucun entraînement pliométrique n'est effectué. Cette période permet la régénération des fibres musculaires qui mène à l'augmentation des performances au saut vertical (*Cometti, 1988*). La littérature propose 3 semaines pour la période de repos. Généralement, l'intensité des exercices pliométriques, au cours d'un programme, augmente de façon progressive. Notre étude amène une approche plus agressive, car dès le début du programme, les athlètes seront soumis à des exercices intenses. La courte durée et l'intensité élevée de la pliométrie produiront-elles des résultats satisfaisants? Ce programme court et intense pourra-t-il influencer les performances des sauts verticaux d'athlètes déjà entraînés et qui semblait stagner dans ce domaine? La phase

de repos de 3 semaines (*Cometti, 1988*) nécessaire à l'obtention des résultats optimaux est-elle un mythe ou une réalité?

Une des particularités de cette étude est consisté à vérifier si les résultats obtenus sont la conséquence directe du programme d'entraînement pliométrique et non ceux de la musculation traditionnelle. Pour cette raison des tests de Bosco et l'évaluation du saut à mouvement contré (CMJ) et du saut en position squat (SJ) ainsi que l'analyse de la différence CMJ-SJ seront effectués.

2. MÉTHODOLOGIE

2.1 SUJETS ET SCHEMA EXPERIMENTAL

Cette étude utilise des joueuses de volley-ball de niveau universitaire élite (n=12) dont les caractéristiques biométriques sont décrites au tableau 2.1 (*cf*: Résultats). On divise les joueuses en deux groupes. Le groupe expérimental (n=7), c'est-à-dire, le groupe qui effectue des entraînements pliométriques en plus des entraînements en musculation et entraînements technique de volley-ball et le groupe témoin (n=5) qui effectue les mêmes entraînements sauf les entraînements pliométriques. Lors des entraînements pliométriques, les sujets du groupe contrôle effectuaient des exercices non reliés à la pliométrie. On obtient alors, une faible différence de volume d'entraînement entre les deux groupes. L'assignation des joueuses à un groupe donné se fait de façon aléatoire.

Les sujets appartiennent tous au même Club de volley-ball et ont suivi le même programme de musculation en force, l'été précédant l'étude qui est effectuée à l'automne. Toutes les participantes à l'étude ont le même bagage d'entraînement musculaire au cours de la dernière année. De plus, ce sont toutes des athlètes de longue date ayant déjà été initiées aux exercices pliométriques au cours de leur carrière.

Les sujets furent évalués à trois reprises. La première évaluation se fait au début de l'étude avant tout entraînement pliométrique. La deuxième évaluation se fait 4 semaines après et immédiatement suivant le dernier entraînement (48 heures après), afin d'étudier les effets immédiats de l'entraînement pliométrique. Enfin, la dernière évaluation s'effectue trois semaines après le dernier entraînement pliométrique. Même après trois semaines de repos, des améliorations devraient être encore perçues (17), car l'entraînement pliométrique est un entraînement de type retardé (Considérations et préparation des athlètes, voir annexe B).

2.2 TEST ET MESURES

Les sujets effectuent 5 tests de sauts verticaux mettant en jeu des qualités physiologiques semblables mais différentes.

Saut de smash

Le smash est la composante offensive par excellence en volley-ball. Le smash est une action qui se décompose en plusieurs parties qui peuvent tout aussi bien, l'une comme l'autre, affecter la hauteur de ce dernier. Le smash comporte trois phases principales : l'approche, l'impulsion et l'envol. L'approche, c'est la course d'élan du smash, en explosant vers l'avant. Le deuxième pas est le pas de blocage. Ces deux mouvements contribuent au changement dans le vecteur de vitesse, on veut transposer la vitesse verticale obtenue par le sprint en vitesse horizontale à l'aide du pas de blocage. Enfin, le dernier pas est le pas stabilisateur ou pas d'envol. Lors du saut, il y a extension des membres inférieurs, et extension des bras complétant leur effet de balancier (figure 1.1-A). La combinaison des jambes et des bras ainsi que la coordination des muscles impliqués dans le saut de smash propulsent l'athlète vers le haut. Le résultat mesuré est le point le plus haut touché sur une planche verticale graduée lors du saut de smash.

Saut de contre (bloc)

Le contre utilise le mouvement des bras tout comme le saut de smash mais d'une façon bien différente, les bras et les mains de la contreuse restent en tout temps, devant elle. Au moment du saut, en fléchissant les jambes à environ 150 degrés, elle abaisse ses mains à la hauteur de sa taille. Lors de la détente, tout comme pour le smash, il y a extension des jambes et des bras (figure 1.1-B). La hauteur du saut dépend de plusieurs facteurs comme la force, la puissance, la coordination, la vitesse angulaire, etc. La hauteur du saut est mesurée de la même façon que lors du saut de smash.

Counter movement jump (CMJ)

Le CMJ est un saut utilisé pour évaluer la force musculaire des jambes. Le saut s'exécute à partir d'une position debout et aucune aide ne doit provenir des bras. Afin de réaliser un tel saut, on exige aux sujets de poser leurs mains sur leurs hanches lors du saut (figure 1.1-C). La flexion des genoux, lors de ce saut, est très importante. L'angle du genou ne doit pas excéder 90 degrés. Le saut doit s'effectuer de façon naturelle, sans exagérations des mouvements. Lors de ce saut, on distingue deux phases : une phase excentrique (négative) et une phase concentrique (positive). La mesure est obtenue au moyen de l'appareil d'Abalakov (Fig 1.1-E). Une mesure graduée est attachée à une ceinture. Cette mesure graduée est retenue au sol par un papier collé solidement. Ce papier laisse le ruban défiler lors du saut, mais garde la mesure au moment du saut maximal.

Squat jump (SJ)

Le SJ ressemble beaucoup au CMJ, à vrai dire le SJ est la moitié du CMJ. Il s'agit d'effectuer une détente verticale en partant d'une position semi-fléchie, (flexion du genou à 90 degrés) sans mouvement vers le bas. Tout comme le CMJ, le SJ n'utilise aucune aide des membres supérieurs, les mains reposent sur les hanches au moment du saut et le tronc est droit (figure 1.1-D). Par rapport au CMJ, le SJ est généralement inférieur. Ce type de saut n'utilise qu'une phase positive ou concentrique (« positive work »). La mesure est obtenue au moyen de l'appareil d'Abalakov.

Différence CMJ-SJ

Le CMJ « *counter movement jump* » et SJ « *squat jump* » sont deux mesures indissociables, car on utilise la différence CMJ - SJ pour évaluer les qualités élastiques des muscles chez l'athlète (Bosco *et al.*, 1985a). En réalité, il est possible de rencontrer des athlètes qui ont une différence nulle entre ces deux tests. On met ainsi en évidence les difficultés de ces sujets à utiliser les avantages de la pliométrie. Plusieurs possibilités se

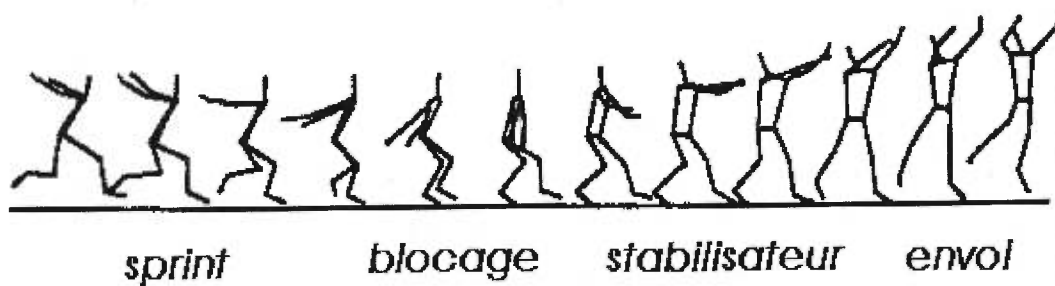
présentent en faisant la différence CMJ - SJ. Par exemple, si l'athlète possède des résultats élevés au SJ mais une différence nulle, ceci indique que l'athlète possède une bonne force musculaire probablement acquise grâce à un programme de musculation en poids et haltères. Par contre, si les résultats du SJ sont faibles et la différence est nulle, il y a deux options : le sujet est un sédentaire ou un athlète de sport d'endurance. L'inverse est très différent. Les résultats du SJ sont faibles et la différence est grande, cet athlète exerce un sport impliquant des sauts mais n'a pas ou peu d'expérience en musculation. Ce test peut donc être interprété de plusieurs façons selon l'expérience des athlètes.

Test de Bosco

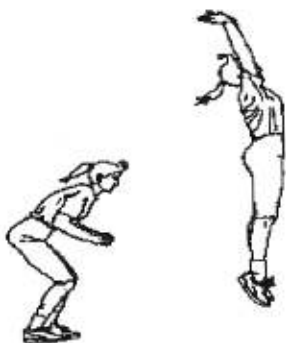
Il s'agit d'un système, mis au point par Bosco, pour mesurer la détente en prenant comme repère le temps de suspension à partir duquel on estime l'élévation du centre de gravité. L'ergojump est l'appareil qui mesure la puissance musculaire des jambes lors de ce test (figure 1-F). Il consiste en un chronomètre au millième relié à un tapis qui déclenche et qui arrête le chronomètre. Cet appareil est également capable, dans le cas de sauts répétitifs, de mesurer les temps de contact. Le sujet doit rebondir le plus efficacement possible pendant 15 secondes (c'est-à-dire le plus haut possible à chaque saut). À la fin de l'épreuve, l'ergojump comptabilise les temps d'appui, les temps de suspension, le nombre de sauts et affiche la puissance développée. Le tableau 1.1 résume les principales caractéristiques des sauts mesurés.

Figure 1.1- Schémas des différents tests et appareils

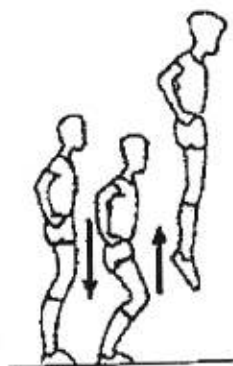
A - Saut de smash



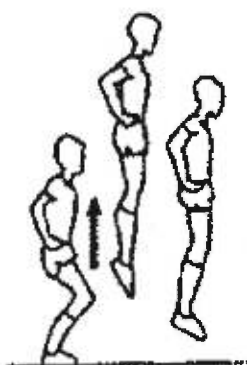
B - Saut de contre (bloc)



C - Counter movement jump (CMJ)



D - Squat jump



E - Dispositif d'Abalakov



F - Appareil de Bosco

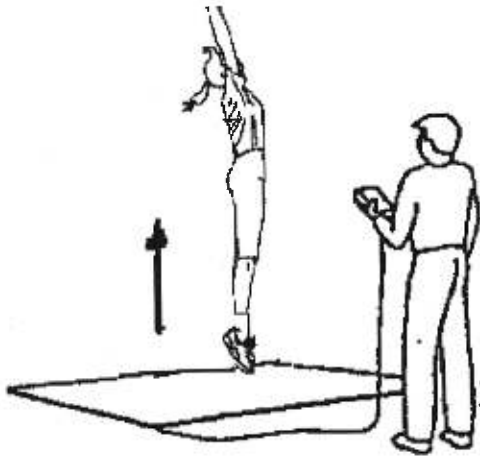


Tableau 1.1- Synthèse du déroulement et des caractéristiques des tests d'évaluations

(Déroulement voir Annexe A)

| | SMASH | CONTRE | CMJ | SJ | BOSCO |
|--|------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| Nombre de sujets par vague | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 |
| Nombre d'exécutions comptabilisées | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Caractéristiques de la prise de mesure | le doigt le plus élevé | doigt le + élevé de main la + basse | sans mouvement des bras | sans mouvement des bras | 15 sec de saut verticaux continuels |
| Repos entre les répétitions | 30 s | 30 s | 1 min | 1 min | 5 min |

2.3 ENTRAÎNEMENT

Le programme d'entraînement pliométrique prescrit aux athlètes de l'équipe de volleyball féminin de l'Université de Montréal est d'une durée de 4 semaines à raison de deux séances par semaine de 20 à 40 min chacune en période pré-compétitive. Des exercices pour intermédiaires-avancés furent utilisés :

Exercices pliométriques de base

Ce type d'exercices pliométriques se compose principalement d'exercices d'étirements pliométriques et de sauts simples. Les exercices d'étirements pliométriques sont des exercices qui aident à l'apprentissage et à la préparation des muscles, articulations, ligaments en vue des prochains exercices plus rigoureux. La pliométrie est un entraînement qui peut être très difficile pour les muscles et articulations s'ils ne sont pas bien préparés. Ce type d'exercices se compose d'exercices simples et faciles d'exécution, trop souvent les athlètes ne voient la pertinence à compléter de tels exercices mais ils sont d'une importance capitale. Il est donc essentiel de faire prendre conscience aux athlètes des dangers d'une préparation inadéquate à l'aube d'un programme intensif en pliométrie.

Les exercices de sauts simples, prépare l'athlète vers un programme plus avancé. Le but de ces exercices est de familiariser l'athlète avec certains types de mouvements qu'ils retrouveront lors d'exercices pliométriques plus complexes. C'est en quelque sorte l'initiation des exercices pliométriques. Par ailleurs, ces exercices servent aussi à tonifier les muscles qui participeront aux exercices pliométriques plus avancés.

Exercices pliométriques intermédiaires

Ce sont des exercices plus complexes qui impliquent la gravité, le poids corporel et la détente musculaire des membres inférieurs. Ces exercices s'exécutent principalement à partir du sol, et se composent de sauts verticaux ou horizontaux multiples. Ces exercices s'effectuent à

partir d'un point immobile ou lors d'un déplacement. Pour ce type d'exercices, il est commun d'utiliser des plates-formes ou escaliers afin d'augmenter les forces exercées sur les jambes. Le but premier des exercices pliométriques intermédiaires est la familiarisation des mouvements pliométriques. Ce type d'exercice sert aussi à la préparation des muscles en force musculaire afin que ces derniers puissent soutenir les charges imposantes des exercices pliométriques, spécialement lors du saut en profondeur.

Exercices pliométriques avancés

Ces exercices sont principalement des exercices de saut en profondeur (entraînement du saut vertical). L'intensité de ces exercices est très élevée et il faut donc éviter de les répéter trop longtemps. L'intensité des exercices varie selon le type d'exercice, la hauteur du saut en profondeur et le nombre de sauts à exécuter. Ce type d'exercices est l'essence même de la pliométrie pour les membres inférieurs. Les exercices pliométriques avancés se composent de sauts en profondeur simples ou multiples, de sauts se déplaçant sur un axe horizontal, d'enchaînement d'actions tel un saut en longueur suivi d'une explosion en sprint. Ces exercices ne doivent jamais être prescrits à des sujets non-entraînés ou à des athlètes débutant un entraînement pliométrique. Trop souvent cette erreur a été commise et des blessures graves ont suivi, ce qui a terni la réputation de l'entraînement pliométrique durant les années 80. Une base musculaire minimale est requise pour débiter et compléter un programme pliométrique complet (description plus détaillée des exercices pliométriques, voir annexe C).

2.4 ANALYSE STATISTIQUE

Des méthodes statistiques standards ont été utilisées pour l'analyse des données. Des analyses de variances (ANOVA) à 2 voies ont été employées afin de vérifier la validité des résultats pré- et post-entraînement et pour comparer les sujets du groupe expérimental et les sujets du groupe contrôle. Le seuil de signification retenu était de 5%.

3. RÉSULTATS

3.1 MESURES BIOMÉTRIQUES

Les résultats de cette étude sont obtenus à l'aide de deux groupes homogènes provenant d'une même population et totalisant 12 sujets. Les données biométriques obtenues sont semblables pour les deux groupes (Tableau 2.1).

Tableau 2.1- Mesures biométriques de tous les sujets

| GROUPE | AGE (an) | TAILLE (cm) | POIDS (kg) |
|--------------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| Expérimental (n=7) | 20 (1) | 176 (4) | 74 (4) |
| Contrôle (n=5) | 21 (1) | 178 (5) | 74 (8) |
| Groupe | 21 (1) | 177 (5) | 74 (6) |

moyenne (écart type)

3.2 VARIABLES EXPÉRIMENTALES

3.2.1 CMJ

Lors de la première évaluation, on remarque qu'il n'y a pas de différence significative entre les deux groupes (Tableau 3.1). Entre le début (T1) et la fin (T2) de l'entraînement pliométrique, on observe une légère augmentation moyenne de 1.3 cm pour le groupe expérimental ($p < 0,05$), tandis que le groupe contrôle n'a pas d'augmentation. Trois semaines après la fin de l'entraînement pliométrique (T3), on constate une augmentation additionnelle de 3.7 cm ($p < 0.001$) contre 0.8 cm ($p < 0.05$) pour le groupe contrôle. L'augmentation totale du groupe expérimental est significativement supérieure à celle du groupe contrôle ($p < 0.05$).

Tableau 3.1- Counter movement jump (cm)- valeurs individuelles, moyennes et écarts types des groupes expérimental et contrôle

| EXPÉRIMENTAUX | | | CONTRÔLES | | |
|---------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 | évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 |
| 42 | 44 | 48 | 40 | 41 | 41 |
| 48 | 48 | 51 | 30 | 30 | 31 |
| 32 | 33 | 37 | 48 | 48 | 49 |
| 31 | 32 | 36 | 41 | 40 | 41 |
| 31 | 34 | 37 | 29 | 30 | 30 |
| 39 | 42 | 44 | | | |
| 50 | 49 | 54 | | | |
| 39 (7) | *40,3 (7) | □*44 (7) | 37,6 (7) | 37,8 (7) | *38,4 (7) |

* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

3.2.2 SJ

Il n'y a pas de différence entre les deux groupes, à T1. Les deux groupes obtiennent des résultats similaires (Tableau 3.2). On remarque, des augmentations identiques de 3.8 cm entre T1 et T3 ($p < 0.05$) pour les deux groupes, expérimental et contrôle. Les deux groupes ont obtenu des augmentations similaires tout au long du projet d'étude. On ne retrouve aucune différence entre les deux groupes ($p > 0.95$) à la fin de l'étude (T3).

Tableau 3.2- Squat jump (cm) - valeurs individuelles, moyennes et écarts types des groupes expérimental et contrôle

| EXPÉRIMENTAUX | | | CONTRÔLES | | |
|-----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|
| évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 | évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 |
| 35 | 36 | 37 | 32 | 33 | 35 |
| 41 | 43 | 44 | 25 | 27 | 28 |
| 27 | 28 | 30 | 33 | 36 | 39 |
| 21 | 23 | 25 | 36 | 38 | 39 |
| 27 | 29 | 31 | 23 | 25 | 27 |
| 35 | 36 | 38 | | | |
| 30 | 33 | 36 | | | |
| 30,9 (6) | *32,6 (6) | *34,4 (6) | 29,8 (5) | *31,8 (5) | *33,6 (5) |

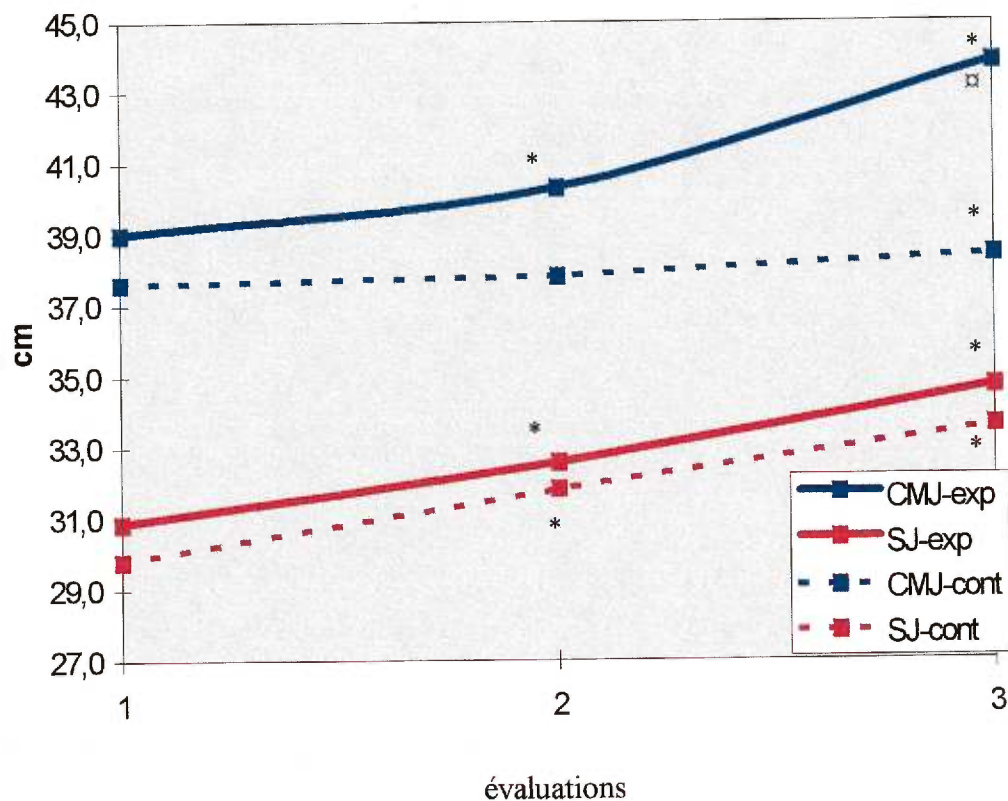
* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

3.2.3 Comparaisons des moyennes du CMJ et SJ

En comparant l'évolution des tests CMJ et SJ de T1 à T3 (Fig 3.1), on remarque une similarité entre les deux droites du SJ, l'évolution semble parallèle. Par contre, on observe des différences dans les courbes du CMJ. On distingue bien l'amélioration des résultats en deux parties inégales chez le groupe expérimental, l'augmentation de T2 à T3 est beaucoup plus marquée, 3.7 cm, comparativement à 1.3 cm de T1 à T2. Pour le groupe contrôle on distingue une légère augmentation de T2 à T3 (0.8 cm).

Figure 3.1- Courbes comparatives des valeurs moyennes des sauts CMJ et SJ pour les groupes expérimental et contrôle



* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

3.2.4 Analyse des valeurs moyennes CMJ - SJ

L'analyse du CMJ et du SJ nous amène à comparer ces deux mesures, plus particulièrement la différence entre le CMJ et le SJ (*Bosco, 1985a*). Cette différence sert à évaluer l'élasticité musculaire des athlètes. Il y a plusieurs interprétations possibles selon le résultat de cette différence (*Bosco (1985a)*). Ainsi, si CMJ-SJ est élevé, comme chez les sauteurs à ski (10 cm) (17), l'athlète possède de bonnes qualités pliométriques (élastique). Par contre, une différence plus grande que 15 cm révèle que l'athlète n'est pas fort physiquement et qu'il possède des lacunes au niveau musculaire. Lorsque la différence est faible, (i.e. 4 cm chez des nageuses de niveau national, *Bosco (1985b)*) ceci nous informe que l'athlète est fort physiquement et qu'il possède un bon bagage musculaire mais qu'il ne possède pas de bonnes qualités élastiques. Cette faible différence CMJ-SJ indique une rigidité des muscles des jambes chez l'athlète et une difficulté à fonctionner de façon pliométrique.

Au départ (T1), grâce à une ANOVA, on prouve que les deux groupes sont statistiquement identiques. Le groupe expérimental ne subit aucune amélioration de T1 à T2, mais il y a une augmentation de T2 à T3 ($p < 0.05$). Par contre le groupe contrôle voit ses résultats diminuer de 7.8 cm à 4.8 cm au cours de l'étude ($p < 0.05$). Les résultats finaux sont différents ($p < 0.05$) entre les deux groupes (Tableau 3.3).

On distingue sur la figure 3.2 que la courbe du groupe contrôle diminue rapidement, l'aspect de la courbe est pratiquement celui d'une droite. La courbe du groupe expérimental n'a aucune augmentation de T1 à T2. Par contre, de T2 à T3 la courbe augmente ($p < 0.05$). D'ailleurs, on remarque qu'au départ les courbes partent presque de la même origine.

Tableau 3.3- CMJ-SJ (cm)- valeurs individuelles, moyennes et écarts types des groupes expérimental et contrôle

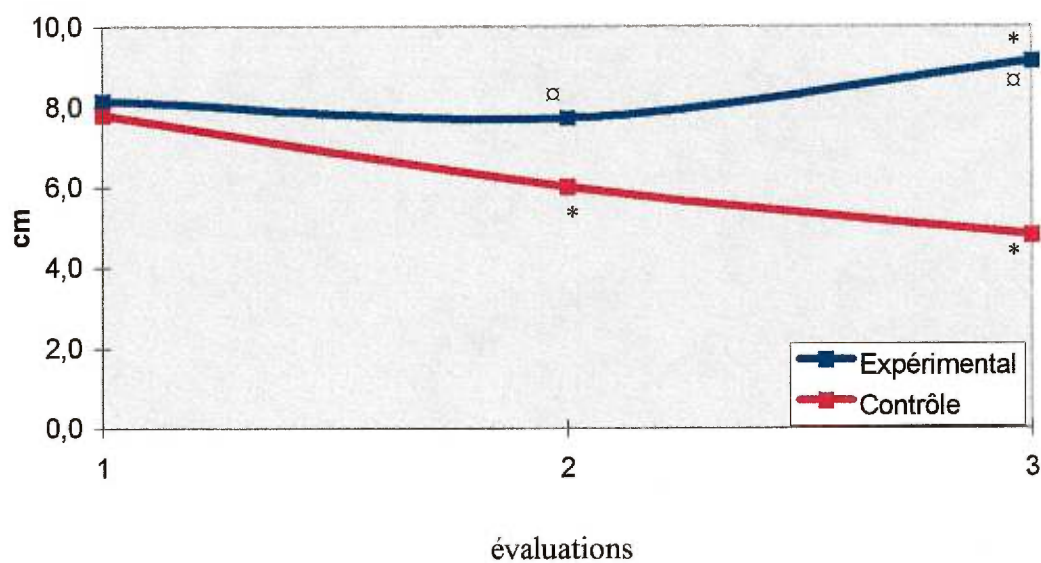
| EXPÉRIMENTAUX | | | CONTRÔLES | | |
|----------------|-----------------|------------------|----------------|---------------|-----------------|
| évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 | évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 |
| 7 | 8 | 11 | 8 | 8 | 6 |
| 7 | 5 | 7 | 5 | 3 | 3 |
| 5 | 5 | 7 | 15 | 12 | 10 |
| 10 | 9 | 11 | 5 | 2 | 2 |
| 4 | 5 | 6 | 6 | 5 | 3 |
| 4 | 6 | 6 | | | |
| 20 | 16 | 16 | | | |
| 8,1 (6) | □7,7 (4) | □*9,1 (3) | 7,8 (4) | *6 (4) | *4,8 (3) |

* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

Figure 3.2

Courbe comparative des valeurs moyennes CMJ-SJ des groupes expérimental et contrôle



* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

3.2.5 Test de Bosco

On observe une augmentation de la puissance moyenne du groupe expérimental au cours de l'étude ($p < 0.05$). Ce dernier subi une augmentation moyenne de 3.2 W/kg (Tableau 4.1). Par contre, aucune variation n'est observée chez le groupe contrôle. Lors de la première évaluation, on a dénoté aucune différence entre les deux groupes, c'est-à-dire que les résultats étaient statistiquement similaires. Par contre, on observe une différence entre les groupes à la dernière évaluation ($p < 0.05$).

Selon Bosco, les résultats moyens du test de puissance selon les spécialités varient comme suivent : 41.5 W/kg obtenu par les athlètes du saut en hauteur (le plus élevé), 30.5 W/kg pour les sprinters et 19.9 W/kg obtenu par les coureurs de fond (le plus faible). L'utilisation de 15 secondes pour le test de Bosco (le temps minimal de l'appareil) représente, au mieux de l'appareil, la réalité de compétition. Mais cela est faux, car jamais un joueur de volley-ball n'effectuera 15 secondes de sauts successifs. On utilise ce test à titre d'outil de comparaison avec les autres résultats de la littérature.

Tableau 4.1 Test de Bosco - valeurs individuelles, moyennes et écarts types des groupes expérimental et contrôle

| EXPÉRIMENTAUX | | | CONTRÔLES | | |
|-------------------|--------------|---------------------|-------------------|--------------|-------------------|
| évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 | évaluation 1 | évaluation 2 | évaluation 3 |
| 49,8 | n/a | 55,5 | 35,8 | n/a | 36,0 |
| 38,5 | n/a | 40,4 | 29,4 | n/a | 30,0 |
| 36,5 | n/a | 39,4 | 43,6 | n/a | 45,5 |
| 33,1 | n/a | 36,3 | 26,1 | n/a | 26,9 |
| 36,5 | n/a | 39,0 | 41,4 | n/a | 41,4 |
| 37,8 | n/a | 41,4 | | | |
| 31,6 | n/a | 34,4 | | | |
| 37,7 (5,4) | n/a | □*40,9 (6,4) | 35,3 (6,7) | n/a | 35,9 (6,9) |

* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

3.2.6 Saut de smash

Il y a augmentation des performances sportives au cours de l'étude pour le groupe expérimental ($p < 0.0001$). On observe deux augmentations du saut de smash de T1 à T2, 2.1 cm et de T2 à T3, 2.7 cm pour une augmentation moyenne totale de 4.9 cm (Tableau 5.1). Une ANOVA démontre les différences significatives entre les différentes phases de l'étude ($p < 0.001$) pour le groupe expérimental.

Pour le groupe contrôle, il n'y a pas d'augmentation entre les phases T1 à T2 et T2 à T3 ($p < 0.05$). Grâce à l'ANOVA, on remarque qu'il n'y a pas d'augmentation de T1 à T2, mais il y a une variation ($p < 0.05$) lors de l'étude, de T1 à T3, une augmentation de 1.2 cm pour le groupe contrôle (Tableau 5.2).

On ne retrouve aucune différence significative entre les deux groupes au début de l'étude. Par contre en analysant les augmentations des sauts, figure 5.1, on réalise que dès la deuxième évaluation on retrouve une différence ($p < 0.05$). Puis lors de la dernière évaluation, on remarque que les résultats du saut de smash pour le groupe expérimental sont supérieurs aux résultats du groupe contrôle ($p < 0.0001$). On remarque selon les courbes comparatives (Fig 5.1) que la courbe des sujets entraînés à la pliométrie est marquée d'une augmentation beaucoup plus prononcée que celles des sujets du groupe contrôle tout au long de l'étude.

Tableau 5.1 Saut de smash (cm) - valeurs individuelles, moyenne et écarts types du groupe expérimental

| T1 | T2 | T2-T1 | T3 | T3-T2 | T3-T1 |
|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| 287 | 290 | 3,0 | 294 | 4 | 7 |
| 283 | 284 | 1,0 | 286 | 2 | 3 |
| 283 | 285 | 2,0 | 288 | 3 | 5 |
| 285 | 287 | 2,0 | 289 | 2 | 4 |
| 274 | 277 | 3,0 | 280 | 3 | 6 |
| 297 | 300 | 3,0 | 302 | 2 | 5 |
| 274 | 275 | 1,0 | 278 | 3 | 4 |
| 283,3 | 285,4 | α*2,1 | 288,1 | α*2,7 | α*4,9 |
| 7 | 8 | 0,8 | 8 | 0,7 | 1,2 |

* significatif (vs test précédents)

α significatif (expérimental vs contrôle)

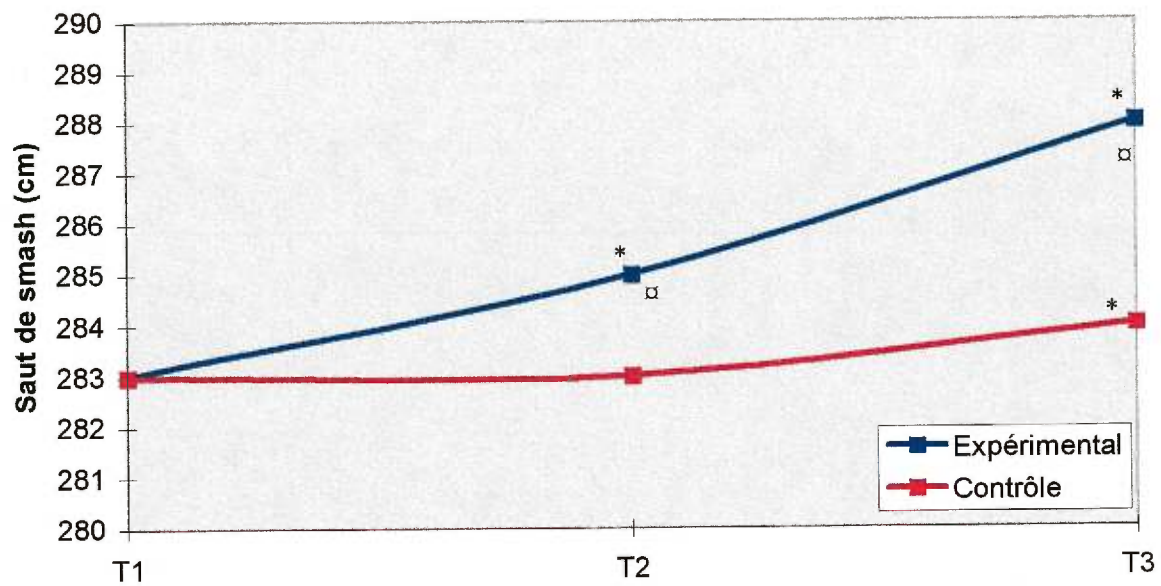
Tableau 5.2 Saut de smash (cm) - valeurs individuelles, moyenne et écarts types du groupe contrôle

| T1 | T2 | T2-T1 | T3 | T3-T2 | T3-T1 |
|--------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| 294 | 295 | 1,0 | 295 | 0,0 | 1,0 |
| 284 | 284 | 0,0 | 286 | 2,0 | 2,0 |
| 277 | 278 | 1,0 | 278 | 0,0 | 1,0 |
| 289 | 289 | 0,0 | 290 | 1,0 | 1,0 |
| 269 | 269 | 0,0 | 270 | 1,0 | 1,0 |
| 282,6 | 283,0 | 0,4 | 283,8 | *0,8 | *1,2 |
| 9 | 9 | 0,5 | 9 | 0,7 | 0,4 |

* significatif (vs test précédents)

α significatif (expérimental vs contrôle)

Figure 5.1 Courbes comparatives des valeurs moyennes des sauts de smash pour les groupes expérimental et contrôle



* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

3.2.7 Saut de contre

Les résultats des sauts de contre pour le groupe expérimental indiquent une évolution significative lors de l'étude ($p < 0.005$). De T1 à T2, on observe une augmentation significative ($p < 0.05$) de 1.7 cm (Fig 6.1). Lors de la deuxième évaluation, après la période de repos, les sujets subissent une augmentation moyenne ($p < 0.005$) de 2.8 cm, pour finalement obtenir une augmentation moyenne totale de 4.3 cm (Fig 6.1).

Il n'y a aucune variation des sauts de contre pour le groupe contrôle au cours de l'étude (Fig 6.2).

D'après la figure 6.1, on observe une augmentation des performances au saut de contre des sujets du groupe expérimental, la courbe a une allure presque linéaire. Tandis que le groupe contrôle n'a aucune augmentation des performances. De plus, grâce à une ANOVA, on remarque que les deux groupes ne possèdent pas de différence au début de l'étude. Par contre lors de la dernière évaluation, les performances au saut de contre du groupe expérimental sont nettement supérieures aux performances du saut de contre des sujets contrôles (Fig 6.1).

Tableau 6.1 Saut de contre (cm) - valeurs individuelles, moyenne et écarts types du groupe expérimental

| T1 | T2 | T2-T1 | T3 | T3-T2 | T3-T1 |
|-----------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|
| 272 | 276 | 4,0 | 278 | 2,0 | 6,0 |
| 268 | 268 | 0,0 | 271 | 3,0 | 3,0 |
| 271 | 272 | 1,0 | 274 | 2,0 | 3,0 |
| 269 | 272 | 3,0 | 274 | 2,0 | 5,0 |
| 264 | 265 | 1,0 | 268 | 3,0 | 4,0 |
| 283 | 285 | 2,0 | 289 | 4,0 | 6,0 |
| 258 | 259 | 1,0 | 261 | 2,0 | 3,0 |
| 269,3 | 271,0 | □*1,7 | 273,6 | □*2,6 | □*4,3 |
| 7,1 | 7,7 | 1,3 | 8,1 | 0,7 | 1,3 |

* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

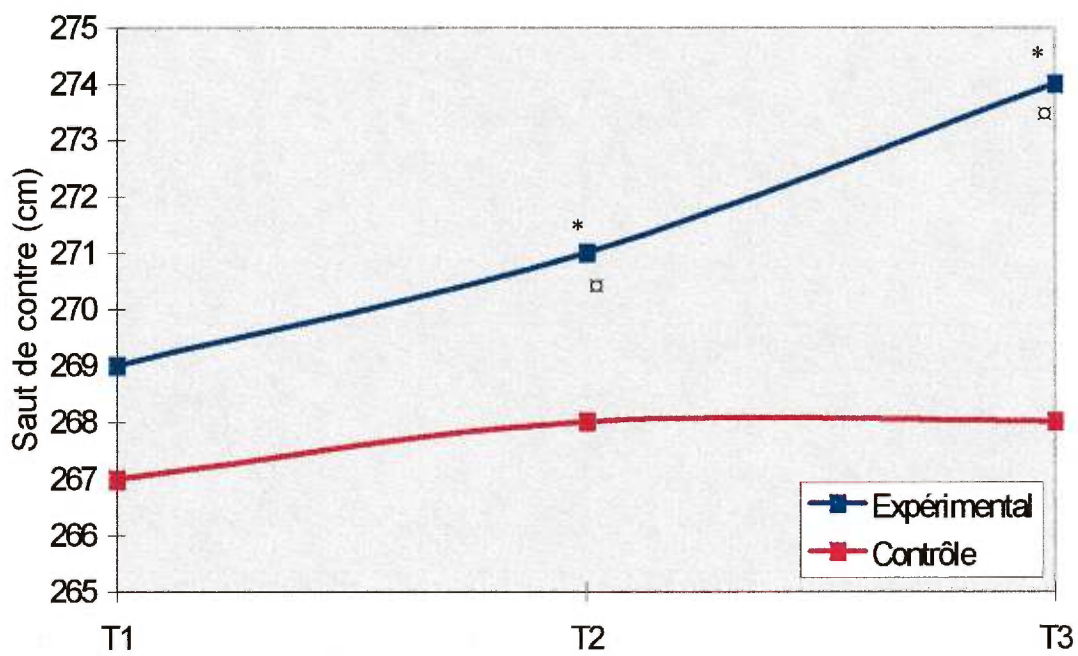
Tableau 6.2 Saut de contre (cm) - valeurs individuelles, moyenne et écarts types du groupe contrôle

| T1 | T2 | T2-T1 | T3 | T3-T2 | T3-T1 |
|-----------|-----------|-------|-----------|-------|--------------|
| 284 | 284 | 0,0 | 284 | 0,0 | 0,0 |
| 269 | 270 | 1,0 | 271 | 1,0 | 2,0 |
| 259 | 260 | 1,0 | 260 | 0,0 | 1,0 |
| 271 | 271 | 0,0 | 271 | 0,0 | 0,0 |
| 254 | 254 | 0,0 | 255 | 1,0 | 1,0 |
| 267,4 | 267,8 | 0,4 | 268,2 | 0,4 | 0,8 |
| 10,4 | 10,3 | 0,5 | 10,1 | 0,5 | 0,7 |

* significatif (vs test précédents)

□ significatif (expérimental vs contrôle)

Figure 6.1 Courbes comparatives des valeurs moyennes des sauts de contre pour les groupes expérimental et contrôle



* significatif (vs test précédents)

◻ significatif (expérimental vs contrôle)

4. DISCUSSION

4.1 ANALYSE DES MESURES BIOMÉTRIQUES

L'équipe féminine de volley-ball de l'Université de Montréal est constituée de 12 athlètes ayant généralement les mêmes mensurations. L'équipe a une moyenne d'âge de 21 ans, une taille moyenne de 177 cm, ce qui représente environ la moyenne des équipes universitaires canadiennes. En ce qui concerne le poids moyen de l'équipe, il est de 74 kg. Les deux groupes furent créés de façon aléatoire. Le groupe expérimental étant plus jeune d'une année (tableau 2.1 et 2.2) mais cette différence n'était pas significative. Les deux groupes ont environ une taille moyenne identique 178 cm pour le groupe expérimental et 176 cm pour le groupe contrôle, et un poids moyen identique de 74 kg. Donc statistiquement, les deux groupes sont très similaires.

4.2 ANALYSE DES MESURES EXPÉRIMENTALES

4.2.1 CMJ et SJ

À première vue, les résultats de notre étude au SJ, situés entre 30 et 35 cm, semblent supérieurs à ceux des joueuses de volley-ball de niveau national en Finlande et Italie avec des valeurs variant entre 24 et 37 cm (Bosco et al., 1985a). Cependant, il faut préciser que ces résultats furent obtenus au moyen de l'Ergojump alors que la détente verticale est estimée à partir du moment où les pieds quittent le sol sur la pointe des pieds, retranchant ainsi environ 10 cm par rapport à un saut vertical traditionnel mesuré à partir du sol, pied à plat. Une fois que l'on tient compte de cette différence technique, nos résultats se rapprochent donc de ceux de la littérature.

À la première évaluation, une différence de 0.9 cm, seulement, séparait les deux groupes en faveur du groupe expérimental pour le test du SJ. Les deux groupes étaient donc semblables au départ (tableau 2.2 et 2.3). Leur progrès au SJ fut aussi semblable avec une

amélioration de 3.8 cm (tableau 3.2 et figure 3.1). Rappelons que le groupe contrôle ne faisant pas de pliométrie mais que, comme le groupe expérimental, il fait cependant un entraînement de musculation conventionnel, ce qui explique une augmentation de SJ pour les deux groupes et confirme que la pliométrie ne produit pas d'effet additionnel à l'entraînement traditionnel pour le SJ qui ne fait pas intervenir la restitution de l'énergie élastique et le réflexe myotatique comme dans le CMJ (Komi, 1978).

En ce qui concerne le CMJ, on peut donc espérer une plus grande amélioration pour le groupe expérimental. Cela se confirme par une amélioration de 3.7 cm, se produisant surtout après la période de repos de 3 semaines (T3) pour le groupe expérimental contre une amélioration de 0.8 cm, petite mais significative, pour le groupe contrôle (tableau 3.1). L'amélioration du groupe contrôle s'explique tant par l'apprentissage de la tâche que par le fait que le CMJ ne dépend pas uniquement de l'énergie élastique et du réflexe myotatique (Hakkinen, 1993). En effet, l'entraînement conventionnel contribue aussi à l'amélioration de ce saut. Mais tel qu'attendu, l'amélioration du CMJ est plus élevée pour le groupe expérimental.

Ceci nous amène, à l'analyse de la différence des performances au CMJ et SJ. Cette différence reflète essentiellement les avantages attribuable à la pliométrie. La différence de hauteur en faveur du CMJ, est due à la restitution de l'énergie élastique et à la facilitation neuromusculaire du réflexe myotatique. Tel qu'anticipé, le groupe contrôle qui réalise seulement un entraînement musculaire avec charges (poids et haltères) obtient une augmentation du SJ supérieure à celle du CMJ. Ce groupe voit sa CMJ-SJ chuter de façon significative ($p < 0.05$) de 7.8 à 6 puis à 4.8 cm (- 3 cm) durant l'étude (tableau 3.3). Tandis que le groupe expérimental voit sa moyenne CMJ-SJ se stabiliser de 8.1 à 7.7 (non significatif) puis à 9.1 cm (tableau 3.3). La différence de T1 à T2 du groupe expérimental n'est pas significative. Ceci est le fruit de l'effet retardé de l'entraînement pliométrique alors qu'après 3 semaines de repos, la différence augmente significativement ($p < 0.05$) de 7.7 à 9.1 cm (figure 3.2). D'autre part et d'après nos résultats, on constate que le groupe contrôle semble se

diriger vers la rigidité musculaire, car la différence CMJ-SJ diminue continuellement (Komi, 1978). Ceci indiquerait qu'un entraînement visant exclusivement le développement de la force musculaire pourrait avoir des effets négatifs sur l'habileté à profiter de l'énergie élastique et du réflexe myotatique.

Par rapport aux résultats obtenus par Bosco et al.(1985a), avec une différence CMJ-SJ de 7 cm pour les équipes de volley-ball féminines de Finlande et d'Italie, nos résultats sont semblables, voire légèrement plus élevés. Ceci pourrait être dû à l'intensité très élevée de notre programme pliométrique.

4.4.2 Test de Bosco

On constate que nos résultats sont un peu plus élevés que ce que l'on retrouve dans la littérature. Ainsi, nos résultats varient de 33.3 à 40.9 W/kg (tableau 4.1). alors que selon Bosco et al.(1985a), les moyennes pour des athlètes de haut niveau provenant de différents sports se situent entre 19.9 W/kg (marathon) et 37.9 W/kg (triple saut). Les athlètes pratiquant des sports nécessitant des contractions dynamiques et brèves (sprint, saut hauteur) auront une puissance moyenne plus élevée que les athlètes pratiquant des sports à contractions longues et lentes (endurance).

En fait, le test de Bosco est une série de CMJ. Tel qu'attendu, on remarque qu'il n'y a aucune variation significative ($p < 0.05$) pour le groupe contrôle. Par contre, on observe une légère amélioration ($p < 0.001$) de la puissance moyenne chez les athlètes du groupe expérimental, 37.7 à 40.9 W/kg (tableau 4.1). Les résultats concordent bien avec les résultats obtenus au CMJ.

4.4.3 Saut de smash

Pour les sujets de notre étude, spécialistes du volley-ball, le saut de smash s'avère d'une importance particulière ($p < 0.0001$). L'augmentation de la hauteur du saut d'attaque est

l'objectif ultime de tout athlète entreprenant un entraînement pliométrique. Selon le tableau 5.1, on remarque que la moyenne du saut d'attaque varie de manière significative ($p < 0.001$) de 283,3 à 285,4 cm pendant les 4 semaines d'entraînement. Comme pour le CMJ, il est tout à fait normal d'observer peu d'améliorations des performances immédiatement à la fin du programme pliométrique puisque la pliométrie agit avec un effet retardé d'environ 3 semaines (annexe). D'après Cometti (1988), pour obtenir des résultats maximaux, aucun entraînement pliométrique ne doit être effectué durant cette période de « repos » afin de laisser la reconstruction des protéines musculaires s'effectuer complètement.

Dans notre étude, le groupe expérimental s'améliore de 2.1 cm de T1 à T2 (4 semaines) puis de T2 à T3 (3 semaines de repos), on note une augmentation moyenne de 2.7 cm (Tableau 5.1). Le groupe contrôle, quant qu'à lui, n'augmente pas de façon significative de T1 à T2 mais connaît une mince augmentation de 0.8 cm ($p < 0.05$) de T2 à T3 (Tableau 5.2). À la fin du programme, les athlètes du groupe expérimental ont connu une augmentation spectaculaire de leur saut d'attaque de 4.9 cm en moyenne durant un entraînement intensif de 4 semaines à raison de 2 séances par semaine. C'est un fait remarquable, car une telle augmentation nécessite habituellement plusieurs mois d'entraînement surtout avec des athlètes déjà entraînés.

4.4.4 Saut de contre

En plus de l'amélioration de la hauteur du saut d'attaque, les joueurs de volley-ball désirent aussi augmenter la hauteur de leur saut de contre afin de bloquer les attaques adverses. Le saut de contre se rapproche plus d'un saut vertical simple que le saut d'attaque. D'après le tableau 6.1 et 6.2, on remarque une augmentation significative ($p < 0.05$) de 1.7 cm de T1 à T2 pour le groupe expérimental alors que le groupe contrôle n'a aucune augmentation moyenne significative. Lors de la période de repos, on constate que le groupe expérimental connaît une augmentation fulgurante de 2.6 cm ($p < 0.001$), ce qui est supérieur d'environ 1 cm par rapport à la deuxième évaluation (T2). En revanche, le groupe contrôle n'enregistre encore une

fois aucune augmentation significative pour la période de repos (T2 à T3). Bref, aucune variation significative n'a été enregistrée au cours de l'étude.

Globalement, les athlètes du groupe expérimental ont une augmentation moyenne de leur saut de contre de 4.3 cm (Tableau 6.1) comparativement à aucune variation significative pour le groupe contrôle (Tableau 6.2). En général, les résultats observés pour les sauts d'attaque (smash) et saut de contre, même si techniquement plus complexe, confirment les résultats obtenus pour le CMJ. On note, toutefois, plus de variabilité entre les individus d'une phase à l'autre de l'étude (T1 à T2 et T2 à T3), ce qui peut s'expliquer par la complexité des mouvements. En effet, l'amélioration de la performance ne dépend plus seulement d'une amélioration de la puissance mais aussi de l'apprentissage technique du geste, ce qui peut varier d'un individu à l'autre.

Cette étude montre des effets d'entraînement pliométrique plus prononcés après un repos de 3 semaines qu'après l'entraînement proprement dit (Annexe E). Cela témoigne de l'effet à retardement souvent mentionné dans la littérature (Cometti, 1988), mais n'indique pas pour autant qu'il n'y aurait pas une amélioration pendant l'entraînement pliométrique même si celui-ci s'était prolongé au-delà de 4 semaines. On ne sait pas non plus si les athlètes avaient commencé à stagner ou s'ils avaient pu s'améliorer davantage avec un programme et/ou une phase de repos plus longue.

D'autres études, avec mesures répétées dans le temps, pourraient ainsi préciser la durée des effets à retardement en relation avec la performance.

5. CONCLUSION

L'objectif de cette étude est de vérifier et étudier les différents effets d'un entraînement pliométrique intensif et court de 4 semaines combiné à un entraînement conventionnel de musculation en période pré-compétitive sur des athlètes de haut niveau. En conclusion, on peut affirmer que l'entraînement pliométrique intensif accompli par les athlètes a produit des résultats très satisfaisants compte tenu de la courte durée de l'entraînement, soit 4 semaines. Ceci est impressionnant pour des athlètes qui stagnaient à cet égard depuis les deux dernières années selon les données relevées par les entraîneurs de l'équipe.

Lors de cette étude, on observe des augmentations plus prononcées pour le groupe expérimental, comparativement au groupe contrôle, pour les sauts d'attaque et les sauts de contre. La pliométrie s'avère un entraînement efficace par rapport à la musculation traditionnelle. De plus, le groupe expérimental obtient de meilleurs résultats au CMJ qui utilise les propriétés principales de l'entraînement pliométrique soit, la restitution de l'énergie élastique et la stimulation du réflexe myotatique. Par contre, l'augmentation du SJ est identique pour les deux groupes, le *squat jump* utilisant ni le réflexe myotatique ni l'énergie élastique, l'augmentation provient alors de la musculation conventionnelle. Le rapport d'élasticité CMJ-SJ du groupe expérimental démontre un développement favorable des propriétés élastiques lors de l'entraînement. Tandis que le groupe contrôle enregistre des résultats qui annoncent une rigidité musculaire croissante plus l'entraînement traditionnel progresse. Finalement, le test de Bosco montre une amélioration de la puissance moyenne pour le groupe expérimental.

En outre, on a remarqué une augmentation significative des sauts d'attaque et de contre durant de la période de repos pour le groupe expérimental. Ceci donne raison à la théorie des effets à retardement de l'entraînement pliométrique (Cometti, 1988).

Les résultats de cette étude sont valides pour des conditions expérimentales bien spécifiques. Ainsi, l'étude fut effectuée sur une courte période de 4 semaines. L'entraînement pliométrique fut conçu et prescrit pour un groupe de volleyeuses et non spécifique à quelques

individus. Reste à savoir si le repos de 3 semaines est vraiment justifié, si la hauteur des sauts en profondeur est optimale pour tous les athlètes et si cet entraînement et ses résultats s'appliqueraient aussi bien pour d'autres disciplines sportives.

Certaines interrogations demeurent, les effets de l'entraînement pliométrique lors de cette étude ne seraient-ils pas uniquement la conséquence d'une augmentation du volume d'entraînement? L'efficacité de la pliométrie par rapport à un entraînement général a été démontrée dans *Keohane (1977)*, *Scoles (1978)* et *Steben & Steben (1981)*. De plus, la combinaison d'un programme pliométrique et d'un programme en musculation est plus efficace qu'un entraînement en musculation selon *Adams (1992)*, *Bosco (1985b)*, *Clutch et al. (1983)*, *Ford et al. (1983)*, *Brown (1986)* et *Polhemus (1981)*. Il est à signifier qu'aucune de ces études ne fait référence à l'augmentation du volume d'entraînement. Comparer deux méthodes d'entraînements pour un même volume d'entraînement est toujours délicat, notamment, en raison du nombre de variables à intégrer et à l'inégalité de pondérations entre les méthodes. Comment peut-on, exactement, égaliser les volumes d'entraînements si le type de contractions ainsi que le nombre de séries, de répétitions et les fréquences diffèrent. En fait, les nouvelles méthodes et techniques d'entraînement essaient d'améliorer les lacunes des programmes antérieurs. Lors de notre étude, il est possible que l'augmentation du volume d'entraînement ait joué un certain rôle dans l'augmentation des performances mais l'effet pliométrique apparaît le facteur déterminant. En effet, la pliométrie a démontré son efficacité. Lors de notre étude, les athlètes ont atteint des hauteurs jamais atteintes auparavant. L'entraînement pliométrique a une fréquence et une durée relativement limitées par rapport à l'entraînement et aux activités sportives des athlètes. L'entraînement pliométrique est constitué de deux séances de quelque 30 minutes par semaine. De plus, pendant les sessions pliométriques les athlètes du groupe contrôle exécutaient d'autres exercices plus généraux non reliés à la pliométrie. Donc la différence du volume d'entraînement n'est pas significative. On peut raisonnablement affirmer que la pliométrie a eu un effet plus spécifique que l'effet induit par la simple augmentation du volume d'entraînement.

RÉFÉRENCES (ÉTUDE EXPÉRIMENTALE)

- Adams K, O'Shea JP, O'Shea KL, Cleimstein M, (1992), The effect of six weeks of squat, plyometric and squat-plyometric training on power production, *J. Applied Sports Sciences Res.*, **6**: 36-41.
- Avela J, Santos PM, PV Komi. Effects of differently induced stretch loads on neuromuscular control in drop jump exercise, *European Journal of Applied Physiology* (1996), **72**, 553-562.
- Bosco C, Luthanen P, Komi PV. A simple method for measurement of mechanical power in jumping, *European Journal of applied physiology* (1985a), **50**, 273-282.
- Bosco C. L'effetto del pre-stiramento sul comportamento del muscolo scheletrico e considerazioni fisiologiche sulla forza esplosiva, *In Atleticastudi* (1985b), jan-fev, 7-117.
- Bosco C. Elasticita muscolare e forza esplosiva nelle attivita fisico-sportive, *Roma : societa stampa sportiva*, (1985c).
- Brown ME, (1986), The effect of plyometric training on the vertical jump on high school boys' basketball players, Thesis, University of Oregon.
- Chu D., (1989), Jumping into Plyometrics, *National Strength & Conditioning Association Journal*, **11(1)** 75-85.
- Chu, D. (1984), Plyometric exercise, *N.S.C.A. Journal*, **5(6)**, 56-59, 61-63.
- Chu D. The language of plyometrics, *National Strength Coaches Association Journal* (1984), **6(4)**, 56-62.
- Clutch D, Wilson M, McGovyn C, Bryce GR, (1983), The effect of depth jumps and weight training on leg strength and vertical jump, *Res. Quart.*, **54**: 5-10.
- Coleman SGS., Benham AS, Northcott SR. A three-dimensional cinematographical analysis of the volleyball spike, *Journal of Sports Science* (1993), **11**, 295-302.
- Cometti G. Les méthodes modernes de musculation, Tome I : Données théoriques, Compte-rendu du colloque de novembre 1988, UFR STAPS Dijon.
- Cometti G. Les méthodes moderne de musculation, Tome II : Données pratiques (1988), Compte-rendu du colloque de novembre 1988, UFR STAPS Dijon.
- Duchateau J. Contribution à l'étude des mécanismes physiologiques des effets de l'entraînement sur la contraction musculaire, Thèse de Doctorat en éducation physique, Université libre de Bruxelles, 210 p.

Ford HT, Puckett JR, Drummond JP, Sawyer K, Grantt K, Fuisseull C, (1983), Effect of three combinaison of plyometric and weight training programs on selected physical fitness test idem, Perceptual and Motor Skills, 919-922.

Häkkinen K. Change in physical fitness profile in female volleyball players during the competitive season, *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (1993), **33 (3)**, 223-232.

Häkkinen K, Komi PV. Effets of explosive type strength training on electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles during concentric and various stretch-shortening cycle exercises, *Scandinavian Journal of Sports Science* (1985), **7 (2)**, 65-76.

Hewett TE, Stroupe AL, Nance TA, Noyes FR. Plyometric training in female athletes, *The American Journal of Sports Medicine* (1996), **24 (6)**, 765-773.

Horita T, Komi PV, Nicol C, Kyröläinen H. Stretch shotening cycle fatigue : interactions among joint stiness, reflex, and muscle mechanical performance in drop jump, *Europeen Journal of Applied Physiology* (1996), **73**, 393-403.

Keohane AL, (1977), The effects of a six week depth jumping program on the vertical jumping ability of figure skaters, M.P.E. Thesis, University of British Columbia.

Komi PV. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women, *Medicine and Science in Sports and Exercic*,(1978), **10 (4)**, 261-265.

Lundin P, Berg W, (1991), A review of plyometric training, National Strength Conditioning Association Journal , **13(6)**, 22-30.

Nicol C, Horita T, Komi PV, Kyröläinen H. Reduced stretch-reflex sensitiviyy after exhausting stretch-shortening cycle exercice (1996), *European Journal of Applied Physiology*, **72**, 401-409.

Polhemus, R, (1981), Plyometrics training for the improvement of athletic ability, Scholastic Coach, **51(4)**, 68-69.

Schidtbleicher D. Classification des méthodes d'entraînement en musculation, *Science du Sport*, (1985).

Schidtbleicher D. L'entraînement en force 1^{ère} et 2^e partie, *Science du sport*, août-septembre 1985.

Scoles G, (1978)Depth jumping, Athletic Journal 58 : 48-76.

Steben RE, Steben AH, (1981), The validity of the stretch-shortening cycle in selected jumping events, J. Sports Medicine and Physical Fitness, **21(1)**, 28-37.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Les entraîneurs recherchent des exercices qui consomment peu de temps et qui contribuent rapidement à l'amélioration des performances sportives. L'entraînement pliométrique est de plus en plus utilisé auprès des athlètes. Plusieurs études prouvent la supériorité d'un tel entraînement en ce qui concerne l'amélioration de la puissance explosive. La pliométrie est un entraînement qui doit être utilisé de façon complémentaire aux entraînements musculaires traditionnels dans le cadre d'un programme d'entraînement complet afin d'améliorer la relation entre la force et la vitesse explosive. De plus, il est essentiel de posséder de bonnes bases musculaires avant d'entreprendre tout programme entraînement musculaire. Ce type d'entraînement provoque plusieurs contractions intenses risquant d'entraîner des blessures musculaires si l'athlète ne possède pas la capacité musculaire requise, le rendant apte à pratiquer ces exercices.

De façon plus spécifique, la présente étude confirme l'efficacité de la pliométrie. En effet, un entraînement pliométrique intense de quatre semaines, a produit des améliorations significatives sur les performances des athlètes universitaires, à l'égard des sauts d'attaque et de contre. De plus, la pliométrie a eu un effet bénéfique sur l'amélioration de la puissance musculaire moyenne d'après le test de Bosco. Par ailleurs, on observe aussi une augmentation de la rigidité musculaire pour les athlètes ayant utilisé uniquement la musculation conventionnelle, contrairement aux athlètes du groupe expérimental. En outre, le fait que certaines améliorations se soient produites 3 semaines après l'arrêt de l'entraînement pliométrique confirme l'effet à retardement de cette forme d'entraînement. Finalement, la différence observée entre les groupes expérimental et contrôle est d'environ 4 cm au saut de smash en quatre semaines d'entraînement. Ce qui constitue une amélioration remarquable pour des athlètes de haut niveau. Ces résultats supportent la pertinence d'un entraînement

pliométrique intense, court et incorporé au programme d'entraînement en période pré-compétitive.

Mais plusieurs questions demeurent afin de préciser les conditions optimales d'entraînement, notamment, par exemple : une période de maintien à la suite d'un programme est-elle essentielle afin de maintenir les améliorations ? Quelle est la hauteur optimale d'un saut en profondeur afin de solliciter de façon optimale le saut réflexe myotatique ? Comment peut-on utiliser le maximum d'énergie élastique disponible ? Le repos de trois semaines est-il vraiment justifié, ne pourrait-il pas être plus long ? Une meilleure intégration entre musculation et pliométrie donnerait-elle de meilleurs résultats ? Quelle est la durée idéale d'un programme pliométrique ? L'efficacité de l'entraînement pliométrique est désormais démontrée, mais il reste à préciser les conditions optimales d'entraînement.

APPENDICES

ANNEXE A

Déroulement des évaluations

date : ÉVALUATION 1 : 4 octobre 1997

ÉVALUATION 2 : 1 novembre 1997

ÉVALUATION 3 : 22 novembre 1997

où : Centre d'Éducation Physique et des Sports de l'Université de Montréal (CEPSUM)

Heure: 9h00 à 11h00

Nombre de participantes: 12 (joueuses de l'équipe de volley-ball féminin de l'Université de Montréal)

Évaluateur en chef: Frédérick Marullo

DÉROULEMENT:

1-Saut de smash

- Groupe de trois (3) athlètes
- Exécution à trois reprises (repos de 30 secondes entre chaque saut)
- Mesure prise avec le doigt le plus haut de la main touchant la planche graduée (on touche la planche avec une seule main)

REPOS de 5 minutes

2-Saut de bloc

- Groupe de trois (3) athlètes
- Exécution à trois reprises (repos de 30 sec entre chaque saut)
- Mesure prise par le doigt le plus haut de la main la plus basse touchant à la planche graduée (on touche la planche avec les deux mains)

REPOS de 5 minutes

3-Counter movement jump (CMJ)

- 3 sauts consécutifs (1 min de repos entre chaque saut)
- un sujet à la fois
- mesure prise avec la ceinture fabriquée

REPOS de 5 minutes

4-Squat jump (SJ)

- 3 sauts consécutifs (repos de 1 min entre chaque saut)
- un sujet à la fois
- mesure prise avec la ceinture fabriquée

REPOS de 5 minutes

5-Test de Bosco

- Saut le plus haut possible et le plus rapidement possible sur une durée de 15 secondes
- 2 exécutions (5 minutes de repos entre chaque exécution)

N.B. lors de la deuxième évaluation seul les tests de smash et de contre ont été effectués

ANNEXE B

Considérations et préparations pour un entraînement pliométrique

La préparation d'un entraînement pliométrique se fait en fonction des athlètes selon plusieurs critères :

a) Antécédents en entraînement musculaire (muscultation)

Il est essentiel de savoir l'historique des athlètes avant de leur prescrire un programme précis. Des sujets non-entraînés ne peuvent pas accomplir un programme de pliométrie avancée, les athlètes doivent premièrement avoir une base en muscultation et deuxièmement avoir une certaine expérience des exercices pliométriques. De plus, la combinaison muscultation-pliométrie en alternance est la meilleure solution et produit les meilleurs résultats selon **Komi, 1985**.

b) Âge

Le simple facteur du degré d'attention porté à la tâche est une considération majeure qui limite l'apprentissage de la pliométrie chez les plus jeunes. Les enfants vont toujours courir et sauter partout. Mais en devenant adulte on perd cette mentalité de jeu et souvent on oublie d'appliquer l'élément « plaisir » aux entraînements et cela peut nuire aux performances.

c) Sexe : différence entre les hommes et les femmes

Le mythe que les femmes doivent s'entraîner différemment des hommes existe toujours dans certains cercles. Il n'y a aucune raison de croire que les femmes ne peuvent performer aussi bien voir même mieux que les hommes dans un programme pliométrique au niveau de la performance, de l'intensité et de l'efficacité. Le facteur différentiel est la force musculaire, par contre tout athlète négligeant l'entraînement

musculaire en force se verra exposé aux mêmes risques de blessures que ce soit une femme ou un homme. Il est vrai que l'entraînement musculaire en force est récent pour les femmes, mais c'est aux entraîneurs et aux athlètes d'améliorer le développement de ce domaine avant d'entreprendre tout entraînement pliométrique. Par ailleurs, il a été noté qu'il y a des différences dans l'utilisation des mécanismes pliométriques. Les femmes seraient plus efficaces et les hommes plus tolérants.

d) Fréquence des entraînements

La fréquence d'un entraînement pliométrique est en général de deux (2) séances par semaine, car le temps de repos entre deux entraînements pliométriques requis est de 48 à 72 heures, selon l'intensité des exercices. En raison de la nature stressante des exercices pliométriques, l'emphase des exercices sera portée non pas sur le volume mais la qualité des exercices et la qualité de l'effort accompli par l'athlète. Par ailleurs, c'est pour cette raison que les entraînements doivent précéder tout autre exercice physique, car la pliométrie est très exigeante et les muscles en fatigue musculaire ne sont pas aptes à compléter des exercices pliométriques intenses. On risque d'augmenter la possibilité de blessures si les athlètes s'entraînent en état de fatigue musculaire, c'est pour cette raison que, préférablement, les exercices pliométriques sont effectués en début de séances.

e) Spécificité du sport

La spécificité du programme est la clé du succès pour des résultats efficaces selon le sport pratiqué. Le sport et les gestes visés doivent être analysés et étudiés de très près pour mettre l'accent sur les exercices appropriés. L'entraînement pliométrique devra évoluer d'exercices de type généraux vers des exercices plus spécifiques. Dans notre cas, le sport est le volley-ball, au début du programme, on insiste sur des exercices se composant de sauts simples ou multiples. plus le programme avance plus

les exercices tenteront de représenter la situation réelle de compétition, les exercices se rapprocheront des sauts de smash et sauts de contre qu'une joueuse effectue durant une compétition.

f) Programme d'équipe ou individuel

Un programme peut être prescrit à une équipe de façon générale ou à des individus distincts selon les lacunes à améliorer. L'entraînement individuel est beaucoup plus exigeant qu'un entraînement de groupe, car il pousse le sujet à ses limites au mieux de ses capacités individuelles. Le focus est porté sur la responsabilité, la concentration et le suivi afin de bien compléter les séances d'entraînements. Pour les programmes de groupe, en plus des accomplissements physiques, l'emphase sera plutôt mise sur les habiletés sociales telles la communication, la coopération, la confiance, l'entraide et la fixation d'objectif à court et long terme pour le groupe. Les programmes de groupe et individuel doivent se dérouler, obligatoirement, dans un environnement de nature positive et axé sur le développement individuel. Notre étude utilise un programme de groupe.

ANNEXE C

Exemples d'exercices pliométriques

Voici la description sommaire et une liste des différents groupes d'exercices qui seront utilisés lors du programme pliométrique, cette liste ne décrit pas spécifiquement chaque exercice exécuté par les athlètes mais plutôt les différents types d'exercices à exécuter. La traduction anglaise suit le titre des groupes d'exercices, ce que l'on retrouve généralement dans la littérature, souvent même les francophones utilisent des termes anglais pour décrire ou nommer certains exercices.

Saut-sur-place (jump-in-place)

Cette catégorie d'exercices se compose d'exercices simples de base en pliométrie, le titre décrit le saut exactement, le sujet exécute un saut à partir d'un point et atterrit exactement sur ce point, donc sur un plan horizontal il reste immobile. Ces exercices sont relativement de faible intensité, mais ils aident à la préparation d'une courte phase d'atterrissage-rebond, ce que l'on appelle phase *d'amortissement*. Ayant une phase d'amortissement plus courte l'athlète se voit donc bondir plus rapidement lors d'un exercice impliquant un rebond, ce qui est essentiel à la réussite d'un exercice pliométrique.

Saut-debout (standing jump)

Ce sont des exercices impliquant des sauts dont la position de départ se situe au sol et debout. Ce type de saut provoque un effort maximal tant au niveau horizontal que vertical. Ce type d'exercices peut être répété à plusieurs occasions, mais un recouvrement total est exigé entre chaque effort, car ces exercices sont très demandants.

Sauts multiples (multiple hops and jumps)

Ce type d'exercice est une combinaison des habiletés développées dans les exercices de type « saut-sur-place » et « saut debout » ; ces exercices requiert un effort maximal mais sont exécutés les uns après les autres. Lors de ces exercices, on peut utiliser des barrières ou non. Ces sauts multiples doivent être exécutés sur une distance inférieure à 30 mètres.

Bondissement (bounding)

Les exercices de bondissement sont des exercices qui exagèrent le cycle des enjambés lors d'un sprint ou une course, afin d'améliorer le cycle des pas de course. Ce type d'exercice est utilisé pour augmenter la longueur et la fréquence des enjambés. Généralement, les bondissements sont exécutés sur une distance de plus de 30 mètres.

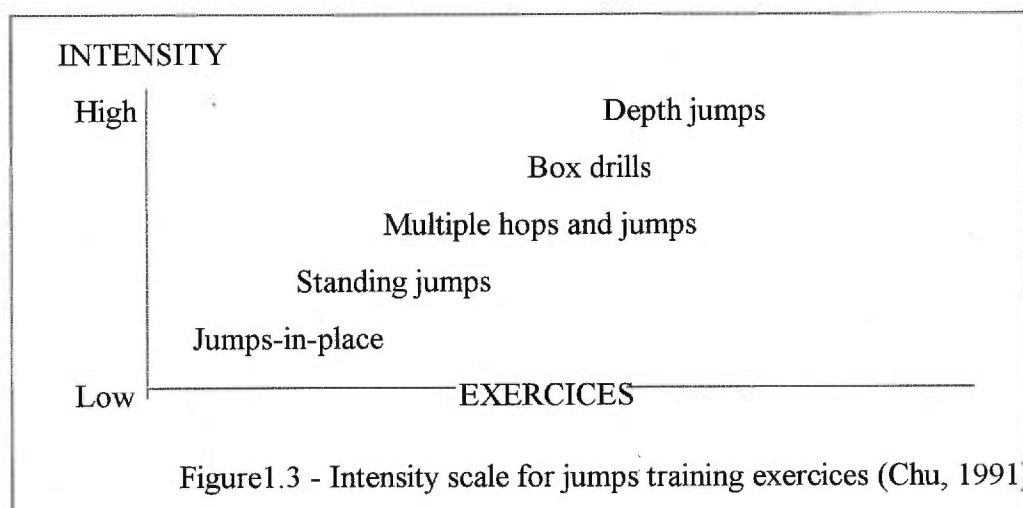
Boîtes (box drill)

Ce type d'exercice est la combinaison des sauts multiples et des sauts en profondeur. Ils peuvent être de basse intensité ou extrêmement intenses, cela dépend de la hauteur des boîtes utilisées. Pour compléter ces exercices on utilise à la fois les composantes horizontales et verticales, séparément ou simultanément. Ce type d'exercice est principalement conçu pour améliorer la force des membres inférieurs afin de pouvoir performer lors des sauts en profondeurs.

Saut en profondeur (depth jump, drop jump)

Le saut en profondeur est l'exercice type, l'exercice par excellence de ce que constitue l'entraînement pliométrique. Ce type d'exercice utilise à la fois le poids corporel du sujet et la gravité afin d'exercer des forces sur les muscles. Les sauts en profondeur sont réalisés en se laissant tomber d'une boîte d'une certaine hauteur vers le sol. Sur impact au sol, le sujet exécute une contraction des membres inférieurs afin d'arrêter le mouvement vers le bas. De plus le sujet doit sur atterrissage au sol exécuter un saut vertical le plus rapidement et le plus

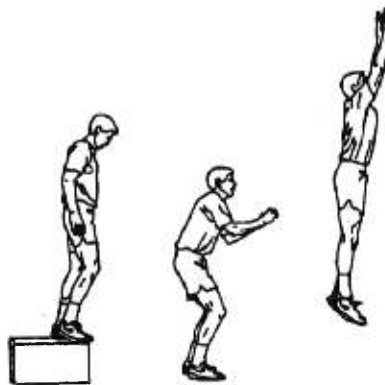
haut possible, en explosant vers le haut. Ces exercices sont d'une très grande intensité et c'est pour cela qu'il est prérequis pour un athlète d'avoir une base en musculation et une certaine expérience en pliométrie. Par ailleurs, le stress exercé aux niveau des joints et articulations est tel qu'on demande aux athlètes de ne pas sauter des boîtes mais bien de se laisser tomber vers le sol. Plus la boîte est haute, plus la chute est importante et plus l'exercice est intense. Le principe de cet exercice est de réduire au maximum la phase d'amortissement (atterrissage au sol) et de remonter en exécutant un saut vertical de façon explosive. C'est ce qu'on appelle un exercice extension-contraction de type « touch and go ». Mais le principe mécanique et physiologique est beaucoup plus complexe et sera décrit dans la partie « Discussion ».



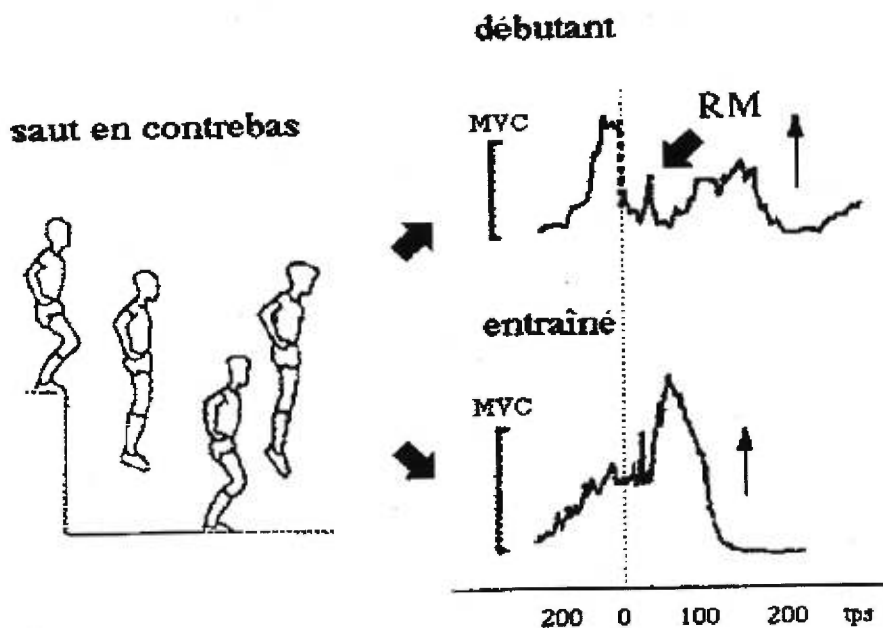
ANNEXE D

Saut en profondeur - entraîné vs non entraîné

Saut en profondeur (Chu 1991)



Participation du réflexe myotatique (Schmidtbleicher 1985)



La ligne verticale (tiret) représente le moment du contact avec le sol. L'abscisse représente le déroulement temporel. Le tracé figure l'activité électrique du triceps. On distingue nettement les différences entre les 2 athlètes (MVC représente l'activité électrique au cours d'une contraction maximale volontaire). On peut faire les remarques suivantes :

- le débutant développe une force supérieure à la MVC alors qu'il est encore en l'air.
- le réflexe d'étirement survient (1^{er} pic de la courbe (RM)) alors que l'activité électrique baisse : il ne va donc pas s'ajouter à l'action volontaire du sujet.
- l'athlète entraîné prépare son muscle avant le contact au sol (60 % de la MVC environ) pour agir au maximum lors du contact, le réflexe myotatique s'ajoute alors à cette activité

(Cometti 1988).

ANNEXE E

Effet retardé du cycle pliométrique (Cometti 1988)