




ELSEVIER
MASSON

Disponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France
 EM|consulte
www.em-consulte.com

JOURNAL DE
TRAUMATOLOGIE
DU SPORT

Journal de Traumatologie du Sport xxx (2009) xxx-xxx

Mémoire

Évaluations prédictives de l'entorse de cheville. À propos de 58 cas

Predictive evaluations of the sprain ankle. Fifty-eight cases report

S. Fabri*, A. Duc, A. Constantinides, Y. Pereira-durif, T. Marc, F. Lacaze

Centre de rééducation spécialisée, 15, avenue du Professeur Grasset, 34080 Montpellier, France

Résumé

La survenue d'une blessure est perçue par le sportif et le monde médical comme une fatalité. Parmi les traumatismes articulaires, l'entorse de cheville est de loin la pathologie la plus fréquente. Les programmes de prévention ont prouvé leur efficacité dans de nombreux domaines. Cependant, ils restent difficiles à mettre en place car il n'existe pas ou peu d'outils pour dépister les sujets à risque. L'objectif de ce travail est de proposer des évaluations fiables, reproductibles et non opératrices dépendantes qui permettront de recenser des sujets potentiellement victimes d'une entorse de cheville à moyen terme. Nous avons testé 58 jeunes sportifs sains dont la pratique était supérieure à deux heures par semaine. Nous avons effectué des bilans sur un appareil de coordination motrice à plateau motorisé, sur une plateforme de baropodométrie et nous avons analysé les qualités musculaires de chaque membre inférieur à l'aide d'un accéléromètre. Les épreuves se sont déroulées aux mois de novembre 2007, janvier et mars 2008. Nous avons recensé cinq instabilités articulaires de cheville. Les sujets victimes d'entorse de cheville au cours de l'étude présentaient un déficit au niveau de la coordination de 13 %. La différence est statistiquement significative. Les différents tests réalisés sur la plateforme de baropodométrie n'ont pas été retenus car les résultats des évaluations bipodales n'étaient pas comparables avec les normes de 1985 de l'Association française de posturologie. Les sportifs traumatisés présentaient tous dans la courbe d'enregistrement du saut, un accident durant la phase d'amortissement au sol et avaient un temps de stabilisation plus court que celui des sujets sains. Cette différence très significative s'élève à 110 ms. Pope et al. retrouvent, chez les sujets victimes d'une entorse talocrurale, une diminution significative de la flexion dorsale lors du bilan antécédent au traumatisme. Willems et al. constatent ces éléments et décrivent d'autres facteurs intrinsèques de prédisposition qui corroborent nos résultats. Notre travail a prouvé qu'il est possible de prédire à moyen terme la survenue d'une entorse de cheville. Ces bilans préventifs doivent être faits en début de saison sportive et permettront de déterminer les faiblesses des pratiquants grâce à ces évaluations fiables et reproductibles.

© 2009 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Prévention ; Blessures ; Entorses ; Traumatisme ; Cheville ; Sport

Abstract

When an injury comes out, it is seen like a fatality for a sportsman and the medical staff. The ankle sprain is from far the most common pathology. Preventions programs proved their efficiency in many fields. However, it is very hard to put them into practice because there is few or no tools to these persons. The goal of this work is to provide assessments reliable, reproducible and non-dependent operator that will identify potential topics victim of a sprain ankle in the medium term. We tested 58 young healthy athletes whose sport practice was up to 2 hours a week. We have made assessments on a motor coordination machine, on a posturography platform and we analysed the muscular benefits of each lower limbs thanks to an accelerometer. These analyses have been done in November 2007, January 2008 and March 2008. We sorted out five articulators instability. Topics victims of the ankle sprain during the study got a 13% coordination deficiency. The difference is statistically significant. All the tests which have been done on the posturography platform were not accepted because the evaluation results were not comparable with the 1985 norms of the French Association of Posturology. We were able to see a curve problem with wounded patients during the ground absorption phase and had a stabilisation time shorter than the one for the healthy subjects. This significant difference was up to 110 ms. Pope et al. find out on patients hit by a talocrural sprain, a significant diminution of the dorsiflexion during the previous traumatism report. Willems et al. find these facts and describe others intrinsic factors of predisposition which match our results. Our work proved that it is possible to warn, in a mid term, the sprain of the ankle.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : kinespe.genou@free.fr (S. Fabri).

These warnings reports must be done in the beginning of the sporting season and will allow to determine the athletes weakness thanks to reliable and reproducible evaluations.

© 2009 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Prevention; Injury; Sprains; Trauma; Ankle; Sport

1. Introduction

La survenue des traumatismes articulaires secondaires aux activités sportives est perçue comme une fatalité. La fréquence s'accroît avec l'intensité et le type de pratique. Quel que soit le niveau, aucun sportif n'est à l'abri d'un accident. Grathwohl et al. précisent que dans la pratique des sports collectifs, la majorité des lésions concerne le membre inférieur (18 % pour le genou et 17 % pour la cheville) [1]. Cette topographie diffère également selon le type d'activité pratiquée. Les sports provoquant le plus grand nombre d'accidents sont le football (30 %), l'ensemble handball–volley–basket–rugby (24 %), la gymnastique sportive (6 %), le ski (6 %), le cyclisme (6 %), l'athlétisme (4 %), les sports de contact (4 %). Chez les 10–24 ans, 50 % des accidents sont causés par les sports de ballon. L'entorse de cheville est la lésion la plus fréquente. On recense 6000 nouveaux cas par jour en France et qui représentent entre 9 et 18 % des traumatismes sportifs. Si l'on se base sur le mode de calcul américain, son coût dépasserait 1,2 millions d'euros par jour. Ce problème de santé publique est surtout marqué par un nombre de récurrences importantes. Les séquelles sont présentes dans plus de 60 % des cas selon Lechable et al. [2]. Face aux pathologies de cette ampleur, une politique de prévention pourrait occuper une place de choix.

Wolf et al. (2005) démontrent que l'introduction d'exercices de prévention au sein de cycle d'entraînement permet de limiter le risque de blessures, notamment dans les sports collectifs comme le handball [3]. Caraffa et al., sur 600 joueurs de football non blessés, ont proposé un programme d'exercice proprioceptif à la moitié d'entre eux [4]. Au bout de trois ans, le nombre de lésions du ligament croisé antérieur du genou était sept fois plus important dans le groupe de sportifs témoins qui avaient suivi l'entraînement normal sans programme préventif. Les professionnels de santé sont sensibles à cette approche, mais il n'y a quasiment pas d'action pratique concrète. Cette nouvelle démarche médicale est difficile à mettre en place car nous n'avons pas d'outils et de valeur pour identifier les sujets à risque. Par ailleurs, il est impossible et trop coûteux de proposer à l'ensemble de la population un programme de prévention sous prétexte que chaque individu est une personne qui a une probabilité de se blesser.

Le but de cette étude était de trouver des évaluations fiables, reproductibles et non opératrices dépendantes qui permettraient d'identifier des sujets à risque, potentiellement victimes d'une entorse de cheville dans les mois qui suivent le test. Toschi et al. (2003) montrent que les principaux facteurs à l'origine d'une entorse de la cheville sont la proprioception (mécanismes de rétrocontrôle et surtout d'anticipation) et la coordination intra et/ou intermusculaire [5]. Nous pensons que tout dérèglement de ces phénomènes va aboutir tôt ou tard à un traumatisme de la cheville. Nous avons testé une population de sujet sportif et nous

avons ensuite recensé la survenue d'une instabilité de cheville chez ces individus.

Notre hypothèse reposait sur l'existence d'un lien entre les résultats d'un sujet supposé sain obtenus lors des différents tests (proprioception, coordination) et la probabilité de survenue d'une entorse de cheville.

2. Matériel et méthode

2.1. Matériel

2.1.1. Les sujets

Nous avons sollicité 58 sportifs sains, âgés de 18 à 30 ans pour cette étude. Ce groupe se composait de 17 filles et de 41 garçons. Pour pouvoir être inclus dans l'étude, le temps de pratique du sport devait être supérieur à deux heures par semaine.

Les personnes ayant souffert de douleurs chroniques du rachis, de traumatismes articulaires ou osseux de moins de trois mois et/ou d'accidents musculaires ou tendineux de moins de six mois, de douleurs chroniques du membre inférieur, n'ont pas été inclus dans le protocole expérimental.

2.1.2. Les outils d'évaluation

2.1.2.1. Appareil de coordination motrice. C'est une machine de coordination motrice et de reprogrammation posturale. Elle est largement utilisée en rééducation mais très peu en évaluation. Un plateau motorisé oscillant déstabilisant permet une adaptation permanente des muscles posturaux antigravitaires du tronc et des membres inférieurs. L'appareil comporte des poignées et un écran qui vont solliciter l'activité volontaire phasique des membres supérieurs du sujet. Un système de biofeedback par l'intermédiaire d'une cible lumineuse permet d'ajuster ses efforts. Le fonctionnement en double tâche permet de solliciter, de manière involontaire, les muscles stabilisateurs de la cheville. L'appareil détermine le pourcentage de coordination de chaque membre inférieur lors des différents exercices.

2.1.2.2. Plateforme de baropométrie. Cette plateforme est utilisée pour tester la stabilité articulaire. Elle est distincte d'une plateforme de stabilométrie car sa fabrication est différente. Cette dernière, employée en statique ou dynamique, a pour but d'étudier les mécanismes de régulation de l'équilibration à travers l'examen de la trajectoire des centres de pression. Le système est équipé de 1600 capteurs de pression protégés par une mousse à l'intérieur du plateau. L'appareil mesure l'évolution au cours du temps de la distribution du poids du corps sur la plateforme de force. Le dispositif permet de visualiser les empreintes podales et la répartition des pressions au niveau des appuis plantaires. L'analyse des oscillations posturales d'un individu debout est possible grâce aux calculs du logiciel informatique.



Fig. 1. Exercice de poussée en fente avant.



Fig. 2. Exercice de tirée en fente avant.

2.1.2.3. L'accéléromètre linéaire. C'est un outil qui permet, en enregistrant au préalable le poids du sujet, d'obtenir les caractéristiques musculaires d'un sujet lors d'un exercice de saut vertical. Le dispositif met en évidence la force concentrique, la force excentrique, la puissance d'un groupe musculaire ainsi que le temps et la hauteur du saut. Cet appareil est principalement utilisé par les professionnels du sport. Le logiciel informatique permet la visualisation de courbes qui retracent les variations de vitesse et d'accélération verticale durant le saut. Ces éléments sont directement en rapport avec les performances des muscles de la propulsion. Pour l'étude, nous avons sélectionné des paramètres spécifiques en rapport avec la stabilité articulaire de cheville mais non prévus par le fabricant. De plus, cet outil analyse la différence de valeurs obtenues entre le membre inférieur droit et gauche. Il effectue également la mesure du déséquilibre concentrique/excentrique.

2.2. Méthodes

Les tests se sont déroulés lors de trois périodes (novembre, janvier, mars). Lors des évaluations de janvier et de mars, nous avons recensé les entorses de cheville survenues depuis le début du protocole.

2.2.1. Test de coordination motrice

Au préalable, une première étape était consacrée à la prise de connaissance de la machine, aux principes de fonctionnement ainsi qu'à son apprentissage. Ensuite, la seconde étape correspondait à l'évaluation de la coordination proprement dite. Le sujet devait effectuer six exercices, quatre bipodaux (poussée avec les membres supérieurs en fente avant droite, poussée en fente avant gauche, exercice de tirée avec les membres supérieurs en fente avant droite, exercice de tirée en fente avant gauche) (Fig. 1, 2) et deux unipodaux (exercice croisé de poussée avec une main et de tirée avec l'autre en station unipodale sur le membre inférieur droit, exercice identique en unipodal sur le membre inférieur gauche) (Fig. 3). Lors de toutes les évaluations, les oscillations du plateau motorisé devaient être

adaptées uniquement par les mouvements du ou des membres inférieurs. Le sujet avait pour instruction de garder le tronc et les membres supérieurs fixes, coudes en extension. Les paramètres du plateau étaient réglés sur 50 % pour la vitesse et l'amplitude de rotation. La colonne était fixe. La force en poussée ou en tirage au niveau des membres supérieurs était de 5 pour les filles et 7 pour les garçons. L'exercice était constitué de deux séries de deux répétitions qui ont duré chacune dix secondes. Il y avait un temps de pause de cinq secondes entre chaque répétition et un temps de repos de six secondes entre les deux séries. Durant cet intervalle, l'action des membres supérieurs était suspendue.

2.2.2. Le bilan sur plateforme

Après avoir donné les consignes nécessaires au bon déroulement de l'épreuve, le test se composait de six parties :

- une évaluation en situation bipodale les yeux ouverts (Fig. 4). L'individu a été placé face à un mur et devait y fixer une



Fig. 3. Exercice croisé en unipodal.



Fig. 4. Bilan bipodal.

cible située à hauteur de ses yeux. La distance entre le sujet et la cible était d'un mètre. Le temps d'acquisition était d'une minute ;

- cette même épreuve fut ensuite effectuée les yeux fermés ;
- un test en situation unipodale gauche avec les yeux ouverts a été exécuté dans les mêmes conditions que lors de la première évaluation (Fig. 5). Néanmoins, la durée n'a été ici que de 30 secondes ;
- ce dernier bilan a été aussi reproduit avec les yeux fermés ;
- les deux bilans unipodaux sur le côté gauche ont été ensuite pratiqués sur le membre inférieur droit selon les mêmes exigences.

Toutes ces analyses ont été réalisées en absence de toute source sonore, pieds nus, les bras le long du corps. La position des membres inférieurs était libre, mise à part la position du genou qui devait être en légère flexion (entre 5 et 30°).

2.2.3. L'évaluation musculaire avec l'accéléromètre

Pour évaluer les capacités de triple poussée et de réception de chaque membre inférieur, les sujets ont effectué trois *squat jump*. Ce type de saut se déroule en cinq phases. Le sujet, à partir de la position de départ, genou(x) en extension (Fig. 6), fléchit ces derniers pour atteindre une amplitude proche de 45° de flexion (Fig. 7). Dans cette situation, l'examineur lui demande d'effectuer un saut vertical en exploitant toutes ses capacités (Fig. 8). Lors de la réception, le sportif doit se stabiliser (Fig. 9) et revenir à la position initiale (Fig. 10).

Nous avons fait pratiquer trois types de bond (un *squat jump* en situation bipodale et un saut sur chaque membre inférieur).



Fig. 6. Position de départ.



Fig. 7. Préparation au saut.

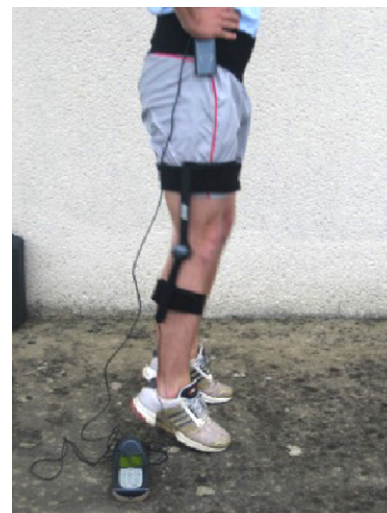


Fig. 8. Phase de saut.



Fig. 5. Bilan unipodal gauche.



Fig. 9. Réception du saut.

Dans ce dernier cas, la poussée et la réception se faisaient sur le même pied.

Pour ces trois tests, un goniomètre électronique placé sur le genou indiquait au sujet, à l'aide d'un signal sonore, l'angle de flexion que le sujet devait atteindre (45°) pour effectuer la *squat jump*.

3. L'analyse statistique

Les données ont été traitées avec le logiciel de statistiques. Nous avons analysé nos données transversalement pour comparer les deux groupes indépendants. Notre échantillon de blessés étant relativement restreint, nous avons recours à des tests non paramétriques *u* Mann-Whitney. Nous avons fixé le seuil significatif à $p < 0,05$. Pour étudier la corrélation entre les différents tests nous avons utilisé le coefficient de corrélation de Pearson.



Fig. 10. Retour à la position initiale.

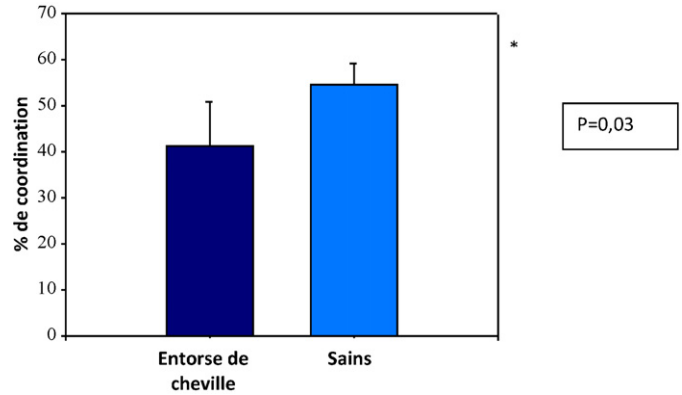


Fig. 11. Coordination entre le membre inférieur lésé des sujets victimes d'une entorse de cheville et chaque membre inférieur des sujets sains.

4. Résultats

Dans un premier temps, nous avons observé et analysé les corrélations qui existaient entre les différentes évaluations de tous les sportifs.

Ensuite, nous avons recensé les traumatismes articulaires qui sont survenus entre le premier et le dernier test. Cinq sujets ont été victimes d'une entorse de cheville. Nous avons comparé les résultats obtenus par les personnes blessées, lors du test précédent l'accident, à ceux des individus sains.

4.1. Coordination motrice

Les sujets victimes d'entorse de cheville au cours de l'étude présentaient un déficit au niveau de la coordination. La comparaison des résultats du membre inférieur blessé par rapport à ceux obtenus par la population saine met en évidence une différence statistiquement significative de 13 %. (Fig. 11).

4.2. Le bilan sur plateforme

Les différents tests réalisés sur la plateforme de baropodométrie ont montré des résultats ne correspondant pas à l'attente de ce travail de recherche, car certaines valeurs obtenues lors des évaluations diffèrent des normes publiées en 1985. Nous avons donc préféré ne pas les utiliser. Néanmoins, nous aborderons quand même, dans la discussion, les éléments qui sont à l'origine des chiffres que nous avons retrouvés.

4.3. Évaluation musculaire avec l'accéléromètre

Pour mettre en évidence les déficits qui peuvent induire des instabilités articulaires, nous avons analysé le temps de stabilisation du pied au sol. La courbe ci-dessous représente les variations de la vitesse verticale ascendante au cours du saut. Nous l'avons décomposée en plusieurs phases (Fig. 12). Dans un premier temps (phase 1), il existe une légère vitesse négative qui correspond à la flexion du genou jusqu'à 45° lors de la préparation au *squat jump*. Ensuite (phase 2), la vitesse devient positive avec une violente augmentation qui exprime la phase de poussée. Le premier pic (pic 1) se situe au moment où le pied

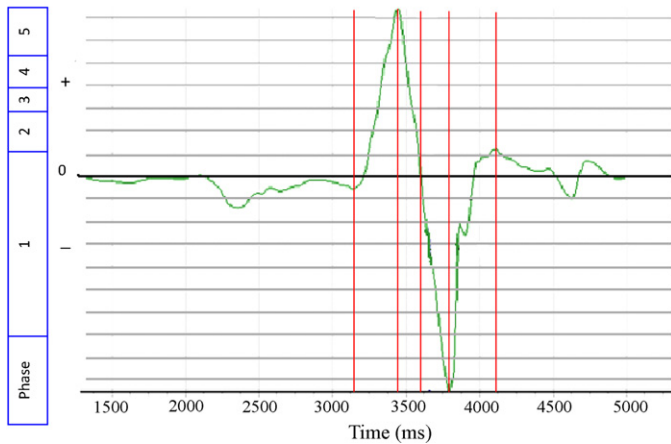


Fig. 12. Variation de la vitesse au cours du *squat jump*.

quitte le sol (Fig. 13). La vitesse reste positive mais diminue sous l'action de la pesanteur pour devenir nulle lorsque le sujet a atteint la hauteur maximale de saut (phase 3). Ce tracé (phase 2 + 3) coïncide avec la phase d'ascension lors du saut. La phase de descente (phase 4) concorde avec la période négative de la vitesse avec un maximum juste avant l'impact au sol (pic 2). Le temps d'amortissement (phase 5) est matérialisé par la période où la vitesse redevient nulle, c'est-à-dire la décélération.

Les sujets victimes d'une entorse de cheville au cours de l'étude avaient un temps de stabilisation plus court que celui des sujets sains (Fig. 14). Cette différence très significative s'élève à 110 ms. Nous avons aussi noté que l'écart-type des individus qui se sont blessés après les tests était relativement faible (± 10 ms). Dans le groupe indemne, cette valeur était plus importante (± 90 ms).

Nous avons aussi observé que les personnes ayant été victimes d'un traumatisme présentaient tous un accident dans la courbe durant la phase d'amortissement au sol (Fig. 15).

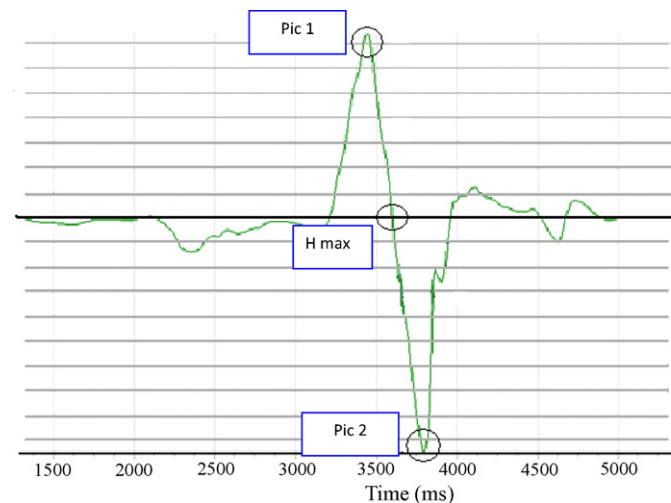


Fig. 13. Visualisation des phases du saut sur la courbe de l'accéléromètre.

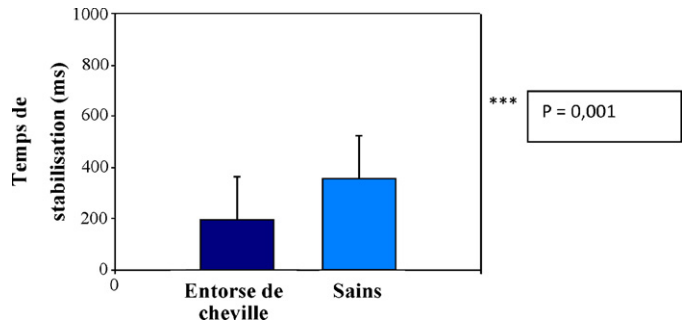


Fig. 14. Temps de stabilisation après le *squat jump* entre les sujets sains et les sujets victimes d'une entorse de cheville.

5. Discussion

Nous avons retrouvé peu de publications qui décrivent des signes cliniques prédictifs de l'entorse de cheville. Pope et al. ont évalué la mobilité articulaire de cheville chez 1093 recrues de l'armée australienne et ont observé l'évolution traumatologique de cette articulation au cours des 12 semaines d'entraînement intensif [6]. Ils retrouvent, chez les sujets victimes d'une entorse talocrurale, une diminution significative de la flexion dorsale lors du bilan prétraumatique. Gabbe et al. tirent les mêmes conclusions après l'analyse des tests de pré-saison de 59 joueurs de football australien [7]. Dans cette même étude, ils remarquent que les tentatives d'amélioration de ce déficit par des étirements du triceps, n'ont aucun effet sur la prévention de ce type d'accident. Leur méthode d'évaluation de l'amplitude articulaire en charge est pertinente car elle met en jeu tous les capteurs sensitifs. Ce procédé physiologique est effectué dans la gravité et permet de faire intervenir une tonicité musculaire qui n'est pas mise en jeu lors de la position de décubitus. Ces tests en charge sont plus adaptés à la recherche de signes prédictifs d'entorse de cheville. En effet, la stabilité articulaire dépend à la fois de la tension qui est développée au sein des muscles périarticulaires (notion de raideur active) et de la morphologie même de ces muscles [8]. Au niveau de l'articulation talocrurale, ce sont principalement les muscles fibulaires et tibial postérieur qui assurent la protection de l'articulation talocrurale. L'augmentation de la

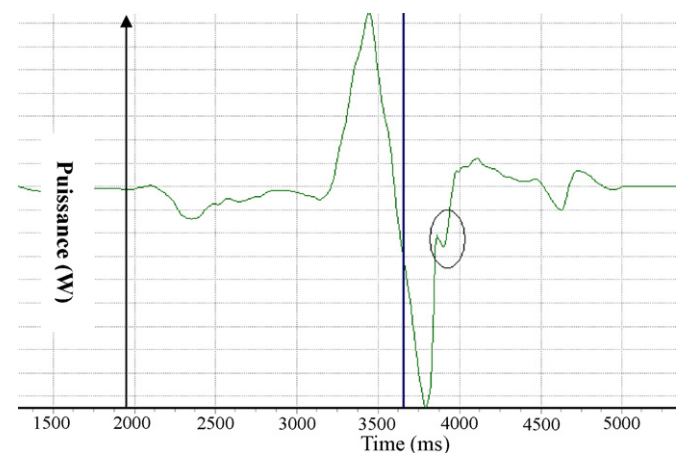


Fig. 15. Accident de la courbe de puissance lors d'un *squat jump*.

raideur active améliore la coaptation des surfaces articulaires et, par voie de conséquence, la stabilité de l'articulation. La régulation de l'activité musculaire périarticulaire peut être analysée de deux façons : d'après Freeman [9], Delplace et Castaing [10], la protection de l'articulation de la cheville est assurée par une boucle de rétrocontrôle d'origine proprioceptive. Les capsules, les ligaments, les pelotons graisseux périarticulaires contiennent des mécanorécepteurs qui transmettent des informations à l'intégrateur médullaire, celui-ci décidant d'une activité réflexe des muscles protecteurs de la cheville.

Thonnard et al. ont établi que le temps nécessaire pour induire une lésion ligamentaire est inférieur à 30 ms [11]. Cette valeur est très nettement inférieure au temps de latence des premières bouffées myoélectriques qui est de l'ordre de 60 ms pour les principaux muscles de la cheville. En outre, Thonnard et al. ont mis en évidence que, lors d'un saut programmé, il existe, avant même l'impact au sol, une activité des muscles protecteurs de la cheville [11].

Aux vues de ces différentes études, il apparaît que la stabilisation active d'une articulation fait appel à deux phénomènes complémentaires, le *feedback* et le *feedforward* [8]. Les évaluations de notre étude avaient pour but de mettre en évidence les dysfonctions au niveau qualitatif et quantitatif de ces deux mécanismes neurophysiologiques. Pour s'assurer d'explorer la stabilité involontaire, nous avons mis en place des tests de coordination motrice pour mettre le patient en situation de double tâche. La coordination est définie comme étant la faculté d'exécuter avec vitesse et efficacité un mouvement intentionnel pour résoudre une tâche concrète. Elle peut se diviser en quatre caractéristiques. La première est la capacité à réaliser un geste avec décontraction, souplesse et précision. La seconde est la faculté d'effectuer une action avec le minimum d'énergie. La troisième est l'adaptation du mouvement aux contraintes environnementales. La dernière est l'aisance de l'apprentissage d'une tâche. Lors du test de coordination motrice, le plateau motorisé de l'appareil oblige chaque membre inférieur à s'adapter en permanence aux oscillations de la plateforme. Cet effort nécessite une régulation constante de la raideur active des muscles qui doit se calquer sur la vitesse et l'amplitude du mouvement imposée par l'appareil. Cet ajustement se fera au début par rétrocontrôle et rapidement, le fonctionnement sera effectué par anticipation. Lorsque l'exécution de l'adaptation est optimale au niveau du membre inférieur, l'exercice de précision demandé avec les membres supérieurs se fera aisément et le pourcentage de coordination sera satisfaisant. Si le sport présente des faiblesses au niveau du *feedback* et du *feedforward*, la régulation de la raideur active sera anarchique avec un travail excentrique d'adaptation saccadé au niveau des muscles extenseurs (fessiers, quadriceps, ischiojambiers et surtout triceps). Ce problème de compliance musculaire va diminuer l'harmonie des mouvements des articulations de la hanche, du genou et de la cheville et les possibilités d'ajustement des membres inférieurs. Dans ce cas, le tronc et les membres supérieurs vont subir les mouvements du plateau motorisé rendant difficile l'exercice de précision. C'est dans ces perspectives que nous pouvons accepter que le pourcentage de coordination reflète la qualité des mécanismes de *feedback* et de *feedforward*. Nous admet-

tons, néanmoins, que nous n'avons pas évalué de manière isolée la précision des membres supérieurs de chaque patient. Malgré cette inconnue, la corrélation significative entre les valeurs faibles de pourcentage de coordination et la survenue ultérieure d'une entorse de cheville nous permet de valider cette évaluation avec l'appareil Huber. Le bilan avec l'accéléromètre linéaire met en évidence les mêmes dysfonctions sans l'utilisation des membres supérieurs. Lors de l'exécution du *squat jump*, le sujet fait intervenir, avant le contact au sol, ses programmes moteurs d'anticipation (*feedforward*) pour optimiser l'amortissement. Ensuite, la réception du saut se fera sous l'action des mécanismes de rétrocontrôle (*feedback*) qui vont favoriser le retour vers l'immobilité. Pour limiter les dégâts articulaires, osseux et tendineux et favoriser l'absorption des contraintes mécaniques lors du contact au sol, l'individu va utiliser la mobilité en flexion des articulations et la compliance musculaire des extenseurs (fessiers, quadriceps, ischiojambiers et surtout triceps). La courbe de la vitesse, lors de cette phase, sera harmonieuse. Plus la durée de cette étape est longue, plus l'amortissement est progressif témoignant d'une adaptation excentrique de qualité. La gestuelle parfaite recherche le confort et l'économie d'énergie. Les individus qui présentent un temps d'amortissement au sol plus court témoignent d'une réception brutale et brève. Cette étape s'est produite par « pilonnage » avec un déficit de compliance musculaire. Cet excès de raideur active des extenseurs a limité la mobilité articulaire en flexion de la hanche, du genou et de la cheville. Les mécanismes de stabilité articulaire ont été déficitaires et témoignent de la vulnérabilité du sujet. Les résultats de notre étude sur le test de coordination et sur le *squat jump* sont cohérents avec la probabilité d'être victime d'un accident articulaire. En effet, dans ces deux évaluations, le rôle de l'articulation talocrurale est prépondérant. Ses fonctions stabilisatrices et adaptatrices sont conditionnées par la régulation de la raideur active des éverseurs mais aussi des antagonistes dont le triceps. En plus des déficits de *feedback* et de *feedforward*, l'action inverseur de ce muscle est un élément favorisant l'entorse latérale mais la littérature en parle peu. Willems et al. constatent ces éléments et précisent que les facteurs intrinsèques de prédisposition aux entorses de cheville sont le déficit de stabilité, une faiblesse des releveurs, une restriction de la flexion dorsale, une diminution de la coordination et une augmentation de la raideur active des gastrocnemius [12]. Noronha et al. observent aussi que les sujets à risque sont ceux qui présentent un déficit proprioceptif et une raideur en flexion dorsale [13]. Ses travaux corroborent nos résultats. Pope et al., dans un délai encore plus restreint, retrouvent un pourcentage de traumatisme de cheville inférieur à 3 % après 12 semaines d'entraînement intensif [6]. Willems et al. observent 18 % d'entorses talocrurales chez ces sujets avec un suivi de un à trois ans [12]. Dans notre étude, nous avons eu un nombre d'instabilité articulaire talocrurale faible (inférieur à 10 %) car la durée du travail était plus courte, inférieure à un an. Toutefois, nous avons observé chez les sujets identifiés comme sains des signes annonciateurs d'une blessure. En effet, certains d'entre eux présentent, à la lecture du graphique obtenu lors du *squat jump*, des accidents de courbes (Fig. 8). Cette particularité fut présente chez tous les sujets qui ont subi une entorse de cheville. Par ailleurs, nous

avons remarqué, grâce à l'analyse statistique, un écart-type très faible chez les sujets blessés alors qu'il était élevé dans le groupe des sujets supposés sains.

De ce fait, notre démarche de prévention doit se poursuivre afin de proposer aux sportifs qui présentent ces signes prédictifs des exercices fiables et validés pour éviter les traumatismes articulaires de cheville. Hertel pense que l'instabilité chronique tibiotalienne pourrait être secondaire à la diminution de la proprioception combinée à une faiblesse des muscles éverseurs [14]. Konradsen et al. précisent que seule une activité musculaire anticipatrice ou un renforcement des muscles stabilisateurs peuvent prévenir de l'entorse latérale de la cheville [15]. Les résultats de Forestier et Toschi suggèrent que l'utilisation d'une orthèse de déstabilisation dont la particularité est de solliciter de manière spécifique le groupe musculaire des éverseurs de la cheville, entraîne une activité musculaire anticipatrice de 77 ms avant la pose du pied au sol [16]. Ce moyen de rééducation favorise la contraction anticipatrice des muscles éverseurs de la cheville, afin de prévenir les entorses. Il permet également d'augmenter significativement l'activité musculaire c'est-à-dire la commande motrice des muscles périarticulaires de la cheville.

Nous regrettons néanmoins que le test sur plateforme de baropodométrie ne nous ait pas donné les valeurs souhaitées. Dans un premier temps, nous avons pensé à un problème d'étalonnage de notre appareil ou à une mauvaise utilisation de notre part. Après analyse de la fabrication de cet outil et discussion avec le distributeur, nous avons remarqué qu'il existait une mousse de protection entre les pieds du sujet et les capteurs de pression. Cette interface, non présente sur les plateformes de stabilométrie mais nécessaire pour le bon fonctionnement des 1600 capteurs, amortit les variations de pression et absorbe une partie des données lors de l'acquisition. Cette diminution de précision expliquerait que nos résultats soient difficilement comparables aux normes de 1985. Cet appareil, que nous utilisons pour d'autres indications, reste tout de même très satisfaisant pour la rééducation et la posturographie.

6. Conclusion

Depuis quelques temps, la prévention en traumatologie est un sujet de plus en plus présent dans la littérature. Cependant, le manque de solutions concrètes et les propos démagogiques de certains textes ressemblent plus à un attrait par effet de mode qu'à une réelle démarche scientifique. Les seuls arguments pertinents concernent la nécessité de diminuer les récurrences d'une pathologie déjà rencontrée. Notre approche préventive est peu commune en traumatologie car elle s'adresse à une population saine de sportifs non professionnels. Ce travail montre qu'il est possible de prédire la survenue d'une entorse d'une cheville à moyen terme. Cette étude a prouvé l'intérêt de réaliser des tests avant de commencer une saison sportive. Ils permettront de déterminer les faiblesses des pratiquants grâce à ces évaluations fiables et reproductibles.

Ainsi, il apparaît nécessaire d'analyser les qualités de coordination motrice de chaque sportif afin de les comparer

entre elles. Cette analyse doit être effectuée en situation bipodale, mais également en situation unipodale afin d'étudier les différences entre les deux côtés du sujet.

Les évaluations de la puissance et de la force musculaire de propulsion verticale lors du *squat jump* n'ont pas présenté un grand intérêt pour notre étude. Néanmoins, l'accéléromètre linéaire nous a permis d'analyser une nouvelle valeur : le temps de stabilisation au sol du sujet. Cet indice nous renseigne sur les qualités d'amortissement du sujet et surtout peut prédire le risque de survenue d'une entorse de cheville à court terme. Nous ne pouvons pas encore déterminer avec précision une norme. Il apparaît donc nécessaire d'évaluer et d'analyser les résultats obtenus sur une population plus étendue. Il faudra aussi observer les variations en fonction du sexe, l'incidence du côté dominant et étudier les différences qui pourraient exister. Par la suite, ces campagnes de dépistages doivent aboutir à des propositions de soins.

Des programmes de rééducation préventive, pour les sujets qui présentent des signes prédictifs, devront être mis en place. Ils permettront d'améliorer la coordination musculaire et d'augmenter le temps de réception au sol dans les suites d'un *squat jump*, et surtout de diminuer le nombre d'entorse de cheville. Cette démarche a un coût qui apparaît égal à une prise en charge curative médicale. Cependant, si cette méthode diminue le nombre important d'arrêt de travail et les indemnités journalières inhérentes aux entorses de cheville, les économies de santé publique seront bien réelles.

Références

- [1] Grathwohl S, Monvert A, Pichonnaz C. Évaluation du traitement préventif de l'entorse de cheville avec le dispositif de proprioception Myolux[®] chez le handballeur amateur. *Kine Sci* 2008;484:19–31.
- [2] Lechable M, Borg PL. Enquête nationale multicentrique sur les séquelles douloureuses de l'entorse du ligament latéral externe de la cheville. *Sport Med* 1994;30–3.
- [3] Wolf, et al. A controlled prospective case control study of a prevention training program in female team handball players: the German experience. *Arch Orthop Trauma Surg* 2005;125:614–21.
- [4] Caraffa A, Cerulli G, Progetti M, Aisa G, Rizzo A. Prevention of anterior cruciate ligament injuries in soccer. A prospective controlled study of proprioceptive training. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1996;4:19–21.
- [5] Toschi P, Forestier N, Chanussot JC. Nouvelle approche de la rééducation proprioceptive de la cheville. *Kine Sci* 2003;437:19–22.
- [6] Pope R, Herbert R, Kirwan J. Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in army recruits. *Aus J Physiother* 1998;44:165–72.
- [7] Gabbe JB, Finch CF, Wajswelner HM, Bennell KL. Predictors of lower extremity injuries at the community level of Australian football. *Clin J Sports Med* 2004;40:56–63.
- [8] Billiard F, Chanussot JC, Devun L, Gagey O. Les mécanismes de protection articulaire. *Kine Sci* 2005;459:5–8.
- [9] Freeman M. Coordination exercises in the treatment of functional instability of the foot. *Physiotherapy* 1965;51:393–5.
- [10] Delplace J, Castaing J. Place de la rééducation proprioceptive dans les instabilités musculo-ligamentaires externes de la cheville. *Ann Med Phys* 1975;18:605–17.
- [11] Thonnard JL, Plaghki L, Willems P, Benoit JC, De Nayer J. Pathogenesis of ankle sprain: testing of hypothesis. *Acta Belg Med Phys* 1986;9:141–5.

- [12] Willems, Marieke T, Witvrouw E, Delbaere K, Mahieu N, De Bourdeaudhuij I. Intrinsic risk Factors for inversion ankle sprains in male subjects. A prospective study. *Am J Sports Med* 2005;33:415–23.
- [13] Noronha M, Refshauge KM, Herbert RD, Kilbreath SL. Do voluntary strength, proprioception, range of motion or postural sway predict occurrence of lateral ankle sprain? *Br J Sports Med* 2006;40:824–8.
- [14] Hertel J. Functional instability following lateral ankle sprain. *Sport Med* 2000;29:361–71.
- [15] Konradsen L, Voigt M, Hojsgaard C. Ankle inversion injuries. The role of the dynamic defense mechanism. *Am J Sports Med* 1997;25:54–8.
- [16] Forestier N, Toschi P. The effects of an ankle destabilization device on muscular activity while walking. *Int J Sports Med* 2005;26:464–70.