

UNIVERSITE DE NANTES

FACULTE DE MEDECINE

Année 2004

N°44

THESE

Pour le

DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

Qualification en médecine générale

par

Sophie NOCET

Présentée et soutenue publiquement le 5 octobre 2004

EXPLORATION ISOCINETIQUE DES MUSCLES ROTATEURS DE L'EPAULE CHEZ DES SPORTIFS
PROFESSIONNELS PRATIQUANT LA VOILE

Intérêt en pratique de médecine du sport

Président : Monsieur le Professeur Gouin François

Directeur de thèse : Monsieur le Docteur Dauty Marc

INTRODUCTION

Les mesures isocinétiques de la force musculaire de l'épaule ont été beaucoup étudiées depuis plusieurs années notamment en médecine rééducative et sportive. Les valeurs obtenues permettent soit d'évaluer une perte de force musculaire après une blessure [10,33,39,44] ou une chirurgie [21,44] (par exemple dans le cadre des instabilités [41] ou des lésions de coiffe des rotateurs de l'épaule [44,47]) soit de suivre la progression de la récupération motrice dans le cadre d'un programme de rééducation [10,41,44]. Cette évaluation de la force musculaire est plus fiable et reproductible que la technique manuelle qui est plus subjective et opérateur dépendant.

En médecine sportive, l'isocinétisme permet de mesurer de façon objective les effets d'un entraînement spécifique sur un groupe musculaire au niveau de l'épaule [3,9,18,23,34]; notamment utilisée chez les joueurs de tennis [9,19,34], de base-ball [2,11,18,23,41,47], de handball [4] et de volley-ball [45]. Ainsi, la pratique des sports de raquette et de lancer est responsable d'une force très importante constatée au niveau des rotateurs internes d'épaule. Selon certains auteurs, le développement spécifique d'un groupe musculaire pourrait entraîner un déséquilibre dans le geste sportif et ainsi pourrait être responsable de façon partielle de microtraumatismes, à l'origine de conflit au niveau de l'épaule [13].

L'intérêt des mesures isocinétiques est également d'évaluer un individu dans le temps et ainsi de voir sa progression de façon précise, mais aussi de comparer deux populations différentes entre elles [4,11].

L'objectif de notre étude a donc été d'évaluer, à l'aide d'un dynamomètre isocinétique, la force musculaire des rotateurs de l'épaule chez une population de sportif pratiquant la voile à un haut niveau afin de la comparer à une population témoin.

Le deuxième intérêt a été d'établir, dans la population des sujets sportifs pratiquant la voile, le profil musculaire des rotateurs de l'épaule en fonction des différents postes occupés sur le bateau. Ceci pourra peut-être permettre de choisir l'équipier le mieux adapté à un poste précis pour une pratique plus performante de la voile à un niveau international.

PREMIERE PARTIE : GENERALITES

1-LA VOILE

Il existe, en voile, différents bateaux en fonction de leur taille, de leur gréement ou du nombre de marins. On peut citer par exemple les monocoques de type figaro qui naviguent dans la course en solitaire du même nom, de la route du rhum ou du Vendée globe challenge ou les monocoques type class america avec seize équipiers à bord (11 winchs) qui eux participent plutôt à la coupe de l'America.

Un deuxième type de bateau est constitué par les multicoques (trimaran par exemple) qui prennent part lors de la Transat Jacques Vabre (en équipage par deux) ou en solitaire sur la route du rhum.

Chaque membre de l'équipage a sa fonction propre sur le voilier. Le skipper ou chef de bord gouverne, dirige l'équipe et le bateau. Il peut être amené à barrer si l'équipage est peu nombreux.

D'autres marins sont plutôt au poste avant pour manœuvrer le foc et le spinnaker. Ce poste de par sa position penchée en avant et en rotation pour étarquer les voiles est à risque de blessure du rachis lombaire. Le sportif qui s'occupe de la grand-voile hisse ou réduit la voilure.

Les manœuvres sur l'écoute (border et choquer la voile) demandent de puissants muscles fléchisseurs du bras (muscle biceps brachial, brachial antérieur et long supinateur) ainsi que de bons muscles rétropulseurs du bras (muscles déltôïde, sous scapulaire et grand rond). [46]

Sur les voiliers certains marins sont postés aux winchs pour border les voiles. Pour étarquer un cordage, les membres de l'équipage se servent d'un winch qui est un petit cabestan ou treuil à l'axe de rotation vertical actionné à l'aide d'une manivelle. Ce poste nécessite de réaliser des mouvements de rotation avec antéflexion de l'épaule, en position penchée en avant, alternant la rotation dans le sens horaire et anti-horaire (agoniste-antagoniste) dans le plan horizontal, à des vitesses variables.

Le mouvement effectué sur le winch débute à une vitesse rapide puis ralentit jusqu'au blocage du treuil pour reprendre l'action dans le sens inverse.

Ce mouvement répétitif à vitesse inconstante s'apparente à ceux possible sur les dynamomètres à différentes vitesses (exemple : 60 degrés par seconde, 180 degrés par seconde, 300 degrés par seconde). Cette dernière (300 degrés par seconde) correspond à une vitesse d'exécution rapide du mouvement comme celui effectué sur le winch utilisé pour étarquer un cordage et ajuster les voiles en course.

Ce geste répétitif entraîne des blessures de l'épaule par hyper sollicitation à type de tendinite de la coiffe des rotateurs.

Il existe sur les voiliers un deuxième procédé pour étarquer les voiles. Ce geste est réalisé grâce à la « machine à café » ou colonne en un mouvement complexe impliquant les différents muscles de l'épaule. En position antéfléchie du tronc, l'épaule réalise pour pousser la manivelle du treuil une antéflexion de l'épaule avec rotation dans le plan sagittal dans le sens horaire jusqu'au blocage du treuil puis dans le sens antihoraire en un geste circulaire. Ce mouvement alterne les mouvements d'élévation antérieure avec rotation interne puis rétroimpulsion de l'épaule.

Cette position implique un retentissement physique et pathologique sur le rachis dorsolombaire due à la position penchée en avant. La coiffe des rotateurs est à risque de blessure par hypersollicitation du complexe articulaire de l'épaule.

Actuellement peu d'études ont été réalisées sur les spécificités physiques nécessaires à la pratique de la voile. Certains articles se sont intéressés à la biologie des marins. Ils ont montré par exemple que le skipper était en moyenne plus petit en taille (0,8 cm) et 5 kg plus léger que les autres membres de l'équipage entre les différentes équipes participantes sur les diverses bateaux lors des jeux olympiques à Montréal en 1976 [37].

Dans certaines circonstances le marin peut être amené à contrebalancer le bateau avec son poids en se penchant en arrière de l'autre côté pour rétablir l'équilibre. Dans ce cas, l'étude de Shephard en 1990 montre des contractions musculaires soutenues de la face antérieure du corps (quadriceps, muscles abdominaux), une tachycardie (de 130 à 140/mn), une élévation de la pression artérielle (jusqu'à 198/134 mmHg), ainsi que de la glycémie (de 87 à 116 mg/dl) avec une baisse du taux des bicarbonates sanguins (27,4 à 21 mmol/l) lors de ce mouvement. Sur le plan psychologique, Shephard (1990) démontre qu'il existe une certaine stabilité émotionnelle, une endurance et une domination psychologique prédominante chez les skippers (l'idéal étant une nature introvertie) alors que le profil psychologique de l'équipage repose plutôt sur la spontanéité et l'impulsivité (dimension de type extravertie qui accepte les ordres). [37]

L'étude de 1997 de Legg et al. montre que l'équipe de voile olympique de la Nouvelle Zélande (une des meilleures équipes sur le plan des résultats lors de la coupe de l'America) est en moyenne plus jeune (4,5 ans), plus légère (6,1 kg), plus puissante (sur les tests de flexion et de traction des bras et jambes) que les équipes de haut niveau des autres nations. [28]

Sur le plan de la pathologie, Allen en 1999, démontre un risque plus important de douleur du rachis lombaire du poste « avant » du fait de sa position penchée en avant et en rotation lors de ses manœuvres pour diriger le spinnaker. [1]

Le deuxième poste le plus à risque est celui des marins s'occupant des winchs. Il est susceptible d'entraîner des blessures de deux types. La première concerne le rachis lombaire du à la position fléchie en avant pour réaliser cet effort sur une longue période. La deuxième concerne les membres supérieurs due au mouvement répétitif à grande vitesse requis pour étarquer un cordage et ajuster les voiles. Une mauvaise technique ou posture peut provoquer des blessures par hyper sollicitation. Les tendinites de la coiffe des rotateurs sont les pathologies les plus fréquentes des blessures par microtraumatisme sur les membres supérieurs.

La position de contre balancier entraîne plutôt des syndromes douloureux fémoro-patellaires.

Les blessures par macro traumatisme les plus fréquentes concernent les contusions, entorses, commotion, laceration par ordre décroissant.

Sur le plan des microtraumatismes, les plus fréquents atteignent particulièrement le rachis lombo-sacré puis le rachis cervical, la coiffe des rotateurs, les syndromes fémoro-patellaires, les épicondylites...

Les autres dangers de la voile sont aussi marqués par le milieu aquatique avec l'exposition solaire et au vent, la déshydratation, le froid (engelure), le mal de mer, les brûlures (dues aux cordages) et bien sûr la noyade avec son risque d'hypothermie et de répercussion cardio-vasculaire jusqu'au cas extrême le décès.

L'intérêt de ces études en médecine sportive est important puisqu'elles permettent de proposer en fonction des capacités physiques et psychologiques du sujet sportif le poste correspondant à son profil sur un voilier. Celui ci peut entrer dans le cadre d'une collaboration en équipe et œuvrer sur un voilier à plusieurs membres d'équipage ou être seul et polyvalent sur un voilier en solitaire.

Selon ces considérations, et notamment le risque de lésion de la coiffe des rotateurs de l'épaule, notre étude a pour but de quantifier la force des rotateurs de l'épaule à l'aide d'un dynamomètre isocinétique et de la comparer à des individus appariés non sportif.

2-RAPPEL ANATOMIQUE SUCCINCT DE L'EPAULE

L'épaule est une poly-articulation complexe du point de vue anatomique et biomécanique.

La mobilisation du bras par l'épaule fait intervenir un double mécanisme : l'articulation scapulo-humérale et la ceinture scapulaire.

L'articulation scapulo-humérale est une énarthrose permettant des mouvements de flexion, d'extension, d'abduction, d'adduction, de rotation externe et interne assurés par plusieurs groupes musculaires.

Les investigations vont s'intéresser à un groupe musculaire spécifique : la coiffe des rotateurs.

Le sus-épineux, le sous-épineux, le petit rond, et le sous scapulaire constituent la coiffe des rotateurs de l'épaule. Ce sont de petits muscles qui s'insèrent en avant, au-dessus et en arrière de la tête humérale. Ils assurent les mouvements de rotation de l'os huméral tout en maintenant sa tête dans la cavité glénoïde.

Le muscle sus-épineux est situé dans la fosse sus-épineuse de l'omoplate. Il est faiblement abducteur et intervient au début du mouvement principalement entre 0 degré et 30 degrés. Il a un rôle important dans les lancers dans sa phase finale en maintenant la tête humérale dans la cavité glénoïde.

Le sous-épineux et le petit rond sont situés sur la face postérieure de l'omoplate et ont un rôle dans la rotation externe et l'extension horizontale. Le sous-épineux est de loin le rotateur externe le plus efficace devant le petit rond, le sus-épineux, le deltoïde et le triceps.

Le dernier muscle de la coiffe des rotateurs est le sous-scapulaire. Il prend son origine sur la face antérieure de l'omoplate. Il fixe et abaisse la tête humérale. Ce muscle est le principal rotateur interne de l'épaule surpassant le grand pectoral, le grand dorsal, le grand rond et le biceps. Il a aussi une petite fonction dans l'adduction. [29]

Lors des tests de l'épaule en isocinétisme la littérature décrit quatre positions de test.

- debout, coude au corps fléchi à 90 degrés ;
- debout ou assis, bras en abduction de 25 à 45 degrés ;
- debout ou assis, bras à 90 degrés d'abduction ;
- couché, bras à 90 degrés d'abduction.

Plusieurs études montrent un accroissement de la force des rotateurs externes lorsque le test est réalisé épaule à 40 degrés d'abduction dans le plan de l'omoplate (ou plan scapulaire). De plus cette position semble offrir la plus grande sécurité en limitant les risques de conflit sous-acromial lors du test des rotateurs.

L'exploration iso cinétique des rotateurs de l'épaule permet d'évaluer l'articulation et ainsi de constater des déséquilibres musculaires responsable de microtraumatismes [13].

Le déséquilibre musculaire des rotateurs de l'épaule se réalise au profit des rotateurs internes par rapport aux rotateurs externes. Ce déséquilibre est provoqué par trois mécanismes :

- soit une augmentation de la force des rotateurs internes par la musculation par exemple alors que la force des muscles rotateurs externes ne s'accroissent pas ;
- soit une diminution de la force des rotateurs externes par une blessure ou une séquelle de blessure alors que la force des rotateurs internes restent inchangés ;
- soit l'action conjointe d'une diminution de la force des rotateurs externes alors que celle des rotateurs internes augmente.

La pratique sportive nécessite des amplitudes articulaires et une force musculaire normales. Le geste est réalisé dans les différents plans de l'espace.

3-GENERALITES SUR L'ISOCINETISME

L'iso cinétisme constitue actuellement une technique de référence pour l'évaluation et l'entraînement de la force musculaire à partir de paramètres qui présentent une excellente reproductibilité.

3.1-Les différents modes de contraction

3.1.1- Le mode isométrique

La contraction musculaire en mode isométrique est définie par une contraction musculaire sans variation de la longueur du muscle. C'est à dire sans déplacement des articulations. La vitesse angulaire de l'articulation est donc de 0 degré par seconde.

3.1.2-Le mode anisométrique

La contraction musculaire en mode anisométrique est définie par une contraction musculaire avec variation de la longueur du muscle qui entraîne un déplacement de l'articulation à vitesse angulaire constante ou non constante.

3.1.2.1- le mode isocinétisme

La contraction musculaire en mode isocinétique est définie par une contraction musculaire avec variation de la longueur du muscle qui entraîne un déplacement de l'articulation à vitesse angulaire constante.

Lors du mouvement, le membre débute à une vitesse de 0 degré par seconde pour aller à la vitesse imposée (exemple 60 degrés par seconde) et cette vitesse reste constante pendant toute la durée du mouvement articulaire (phase isocinétique pure). Puis il existe une phase de décélération pour terminer à la vitesse de 0 degré par seconde avant d'inverser son mouvement. Les vitesses angulaires possibles vont de 0 degré par seconde à 450 degrés par seconde selon les possibilités du dynamomètre. Le secteur angulaire exploré est limité selon des butées électroniques [16]. Le mouvement est donc défini au degré près.

3.1.2.2-le mode concentrique

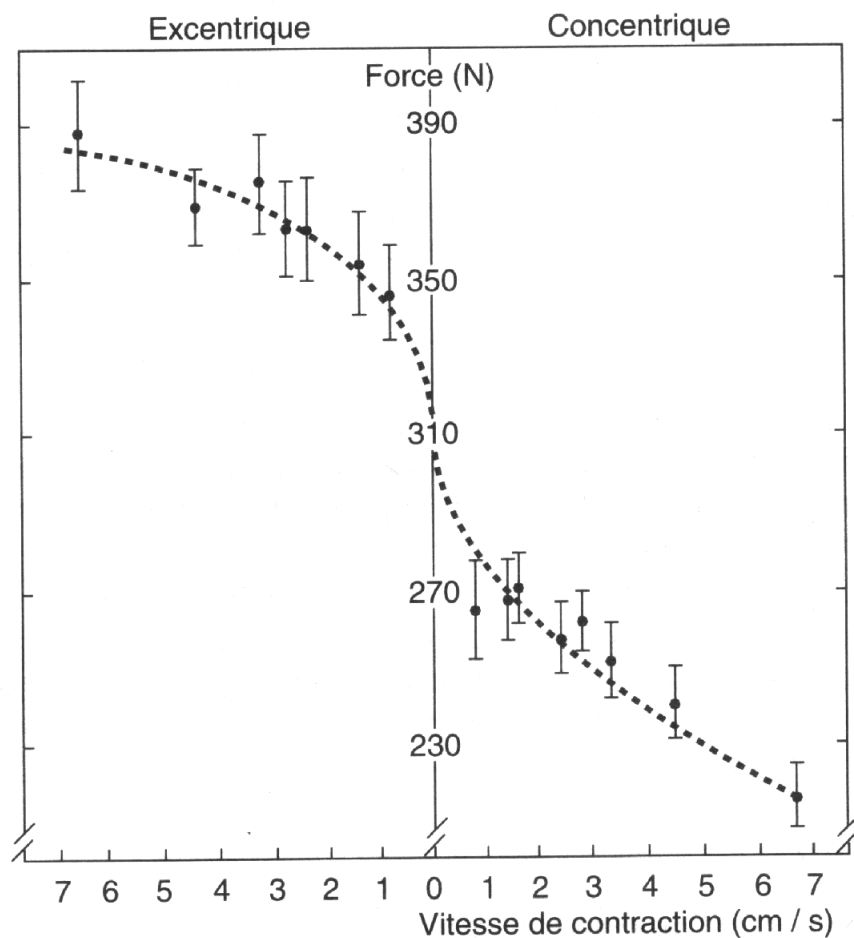
La contraction musculaire en mode concentrique est définie par une contraction musculaire avec variation de la longueur musculaire vers un raccourcissement du muscle qui entraîne un déplacement de l'articulation quelle que soit la vitesse.

3.1.2.3-le mode excentrique

La contraction musculaire en mode excentrique est définie par une contraction musculaire avec variation de la longueur musculaire vers un allongement du muscle qui entraîne un déplacement de l'articulation quelle que soit la vitesse.

Les modes concentriques et excentriques s'opposent du fait qu'à vitesse égale la force externe développée est plus importante en excentrique qu'en concentrique. De plus la force évaluée selon le mode excentrique augmente de façon proportionnelle avec la vitesse à l'inverse de la force musculaire concentrique selon la relation force-vitesse.

Schéma relation force vitesse :



Relation Force / Vitesse de raccourcissement des fibres dans les conditions excentrique et concentrique (d'après Komi).

La relation force-vitesse met en évidence selon un mouvement concentrique que plus la vitesse de déplacement articulaire augmente, plus il est difficile de développer de la force. [5,6]

3.2-Le dynamomètre isocinétique

L'appareil utilisé pour cette étude est un Cybex Norm (Lumex Inc., 2100 Smithtown avenue, Ronkoma, NY 11779-0903, USA) piloté par informatique permettant une mobilisation isométrique et isocinétique concentrique et excentrique d'une articulation à savoir l'épaule.

Chaque appareil comporte un système de position réglable qui permet d'adapter en toute sécurité la procédure à la morphologie du sujet.

Le sujet est installé et sanglé sur le siège du dynamomètre selon des repères individuels enregistrés et permettant une reproductibilité entre les tests.

Selon l'étude de Dauty en 2003, il existe une excellente reproductibilité avec un indice de corrélation intra classe supérieur (ICC) à 0,9 pour le pic de force des rotateurs externes et internes et le travail total avec une SEM (erreur de mesure standard) de 1,2 à 3,5 Newton-mètre pour le pic de force et une erreur de mesure standard de 2 à 8,2 Joules pour le travail total. A contrario, l'angle du pic de force n'est pas reproductible et

les ratios de pic de force des rotateurs externes sur les rotateurs internes doivent être interprétés avec prudence (ICC à 0.75). [17]

3.3-Les procédures

Pour une meilleure étude comparative il faut uniformiser les tests sur différents critères :

*la position

4 sont décrites dans la littérature :

- debout coude au corps fléchi à 90 degrés;
- debout ou assis, bras en abduction de 25 à 45 degrés;
- debout ou assis, bras à 90 degrés d'abduction ;
- couché bras à 90 degrés d'abduction.

Dans la littérature la position bras à 45 degrés d'abduction dans le plan de l'omoplate permet une augmentation des résultats des rotateurs externes et une meilleure stabilité de l'épaule sans douleur correspondant au plan scapulaire.

*le poids

Le poids de chaque sujet est noté afin de rapporter la force par rapport au poids. Ce rapport permet une comparaison entre les individus indépendamment de la masse musculaire ou de la masse grasse.

*la vitesse du test

Le dynamomètre permet une angulation de vitesse de 0 degré par seconde jusqu'à 450 degrés par seconde.

Plus la vitesse augmente plus la force musculaire mesurée selon un mode concentrique diminue (relation force-vitesse).

Le plus fréquemment les études utilisent des vitesses de 60, 120, 180 degrés par seconde voir plus selon un mode concentrique et des vitesses de 60,120 degrés par seconde selon un mode excentrique.

Il est possible d'évaluer tous les muscles de l'épaule ainsi que leurs antagonistes (les fléchisseurs-extenseurs, les abducteurs-adducteurs, les rotateurs internes-rotateurs externes) selon des positions standardisées qui malheureusement ne sont pas toute reproductible ou qui diffère du mouvement-fonction notamment sportif à l'exemple des évaluations réalisées en position allongée.

Le dynamomètre utilisé en mode isocinétique permet la réalisation d'un mouvement à vitesse constante contre une résistance auto adaptée. Cet appareil permet le calcul de la force, du travail, de la puissance.

La force est exprimée en Newton-mètre. Il s'agit en fait du moment de force. Le pic de force correspond au moment de force le plus grand au cours du mouvement.

Le travail exprimé en joule correspond au moment de force développé sur une certaine distance

$$W_f = MF \cdot dl$$

DL est la distance, c'est à dire l'amplitude articulaire en degré, sur laquelle la force agit et correspond à l'élément vectoriel de déplacement.

La puissance est égale au produit de la composante du moment de la force dans la direction du mouvement par la vitesse angulaire. Elle est exprimée en Watt. Elle correspond à la vitesse angulaire avec laquelle est accompli le travail.

$$P_f = MF \cdot V \quad P \text{ en watt ou joule par seconde. [22]}$$

$$\text{Avec } V = dl/dt$$

A partir de ces mesures il est possible d'obtenir le rapport des muscles agonistes/antagonistes au cours de deux mouvements différents dans les sens horaire et anti-horaire. On établit ainsi une relation entre le moment de force des muscles agonistes d'un côté et le moment de force des muscles antagonistes d'autre part. Ceci concerne pour l'épaule le rapport des rotateurs externes sur les rotateurs internes évalués selon un mode concentrique.

L'isocinétisme permet aussi, en modifiant la réalisation du test, d'évaluer la force concentrique et excentrique des groupes musculaires et de mixer les rapports, par exemple en calculant le moment de force des agonistes en concentrique et le moment de force en excentrique des antagonistes afin de se rapprocher d'un mouvement fonctionnel de la phase d'armer (avec les rotateurs externes évalués selon un mode concentrique freinés par les rotateurs internes évalués selon un mode excentrique), ou de lancer (avec les rotateurs externes évalués selon un mode excentrique freinés par les rotateurs internes évalués selon un

mode concentrique).

La mesure du travail total en Joules est utilisée lors du test de fatigue afin de quantifier les possibilités de répétition gestuelle (50 selon notre étude) réalisée selon une intensité maximale.

3.4-l'isocinétisme et l'épaule

Le dynamomètre isocinétique est déjà utilisé depuis 20 ans au niveau de l'épaule dans différents domaines.

Les études de Voisin et al. et de Leger et al. ont essayé d'établir une base de donnée de la force musculaire développée au niveau du complexe de l'épaule. Voisin et al. ont réalisé une étude de la littérature sur l'isocinétisme de l'épaule afin d'établir des principes techniques acceptés de façon consensuelle par tous [43]. Leger et al. ont obtenu des ratios des rotateurs internes sur les rotateurs externes à $1,05 \pm 0,23$ du côté dominant et $1,04 \pm 0,22$ du côté non dominant chez les hommes (différence non significative).[27]

D'un point de vue sportif, l'étude de Codine en 1997 a montré l'intérêt de la pratique sportive pour augmenter le ratio isocinétique des rotateurs internes sur les rotateurs externes. Ainsi certains sports de lancer (base-ball, tennis) développent la force des rotateurs internes sans augmenter celle des rotateurs externes [11]. On obtient ainsi des ratios de rotateurs internes sur les rotateurs externes de 1,69 à 60 degrés par seconde pour les joueurs de base-ball contre 1,48 à la même vitesse pour les joueurs de tennis et 1,28 pour les sportifs pratiquant la course à pied.

D'un point de vue pathologique, Timm en 1997 a étudié les conséquences isocinétiques d'une instabilité de la coiffe des rotateurs de l'épaule. Il a montré chez les sportifs qu'une diminution de la force des rotateurs externes étaient associée à une instabilité de la coiffe des rotateurs notamment lorsque les évaluations isocinétiques sont réalisées à vitesses élevées (240 degrés par seconde, 300 degrés par seconde) [41].

Selon les possibilités d'évaluation de la force des rotateurs de l'épaule à l'aide d'un dynamomètre isocinétique, il nous a semblé intéressant de quantifier la force développée par des sportifs pratiquant la voile à haut niveau, en utilisant des vitesses isocinétiques se rapprochant des gestuelles sportives telles que sur le winch et la colonne.

DEUXIEME PARTIE :REALISATION D'UNE ETUDE CAS- TEMOINS

1-MATERIEL

1.1-Population

Cette étude cas-témoin a été réalisée à l'aide d'un dynamomètre iso cinétique CYBEX Norm (Lumex Inc., 2100 Smithtown avenue, Ronkoma, NY 11779-0903, USA).

Le recrutement s'est déroulé sur une période d'environ trois ans, de janvier 2001 à janvier 2004 dans le service de médecine sportive de l'hôpital Saint-Jacques à Nantes après que le protocole ait été approuvé par l'institut régional de médecine du sport.

1.1.1-Critères d'inclusion

Les sportifs pratiquant la voile au niveau international ont été sélectionnés pour réaliser un protocole isocinétique des muscles rotateurs de l'épaule de façon bilatérale. Ils devaient être professionnels et consentant pour la réalisation des tests sans percevoir d'avantages financiers.

Une deuxième population a été définie comme témoin pour réaliser le même protocole isocinétique des muscles rotateurs de l'épaule. Ils devaient être consentant et ne devaient pas percevoir d'avantages financiers. Les témoins ne devaient pas exercer d'activités professionnelles et sportives intéressant les membres supérieurs.

Les deux populations ont été sélectionnées de façon à être appariés pour le sexe et l'âge.

1.1.2-Critères d'exclusion

Tous les sujets sportifs et non sportifs réalisant le protocole isocinétique ne devaient pas présenter de pathologie ostéoarticulaire ou musculotendineuse de l'épaule ni d'antécédents de chirurgie de l'épaule. Ils devaient être indemnes de pathologies interdisant la réalisation d'un test d'effort.

1.1.3-Elaboration des populations

1.1.3.1-population des cas témoins

Cette population est composée de témoins sains ayant une activité sédentaire, c'est-à-dire ne réalisant pas des travaux de force faisant intervenir les membres supérieurs.

Leurs professions sont variées : 1 chef d'entreprise, 2 commerciaux, 1 médecin, 1 menuisier, 1 chargé de communication, 1 officier de police, 1 centralier, 1 routier, 1 auditeur formateur, 1 cadre et 1 ingénieur.

1.1.3.2-population des sujets sportifs

Cette population est composée de sportifs d'un niveau international pratiquant la voile à différents postes de navigation (2 au piano, 3 régleurs de grand-voile, 2 tacticiens, 2 skippers, 2 avants, 1 à la colonne).

1.2-paramètres d'étude

Les tests ont été réalisés dans le but de mesurer la force, en newton-mètre, du pic de couple des rotateurs externes et des rotateurs internes, selon un mode concentrique de l'épaule dominante et non dominante. Le travail total de la série de cinquante répétitions du test de fatigue des rotateurs externes et internes a été mesuré en joules.

Certaines études [30] ont montré que le pic de couple était la mesure la plus reproductible des données sur la force en isocinétisme.

A partir de ces données, il est possible de calculer le ratio du pic de couple en pourcentage des rotateurs externes sur les rotateurs internes.

Toutes les données mesurées, concernant la force de pic de couple des rotateurs externes et internes, ont également été rapportées au poids des sujets afin de multiplier les comparaisons.

2-METHODE

2.1-critères de réalisation des tests isocinétiques

2.1.1-critères d'installation des sujets

Pour cette étude les tests ont été réalisés en positionnant l'épaule dans le plan scapulaire [3, 11, 17, 20, 21, 26, 39, 41, 42].

Chaque personne a été assise, les hanches fléchies à 85 degrés par rapport au tronc afin de limiter les compensations rachidiennes. Ils étaient sanglés au niveau du tronc et du coude afin de stabiliser l'épaule et de minimiser les mouvements de rotation du tronc.

La rotation du siège était de 35 degrés par rapport au dynamomètre afin de positionner l'épaule dans le plan de l'omoplate. Le dynamomètre était incliné de 40 degrés par rapport au plan horizontal. L'avancée du siège devait permettre que le bras du sujet soit dans le plan de l'omoplate, que les 2 épaules soient alignées selon une ligne horizontale, et que l'axe du bras soit dans l'axe du dynamomètre.

Le coude était fléchi à 90 degrés et la pronosupination était intermédiaire, après adaptation de la longueur du bras du dynamomètre et de sa poignée.

Les rotations externes et internes ont été définies par rapport à la perpendiculaire à la ligne unissant les 2 épaules (cette perpendiculaire définit le zéro). L'amplitude de la rotation externe a été fixée à 45 degrés, et celle de la rotation interne à 60 degrés, soit un secteur angulaire de 105 degrés.

Tous les paramètres de position correspondant à un sujet ont ainsi été mémorisés par le logiciel informatique du dynamomètre, permettant de les repositionner dans une position strictement asymétrique pour l'évaluation du côté droit et gauche.

2.1.2-Réalisation des tests

Une fois installés, les sujets des 2 groupes ont réalisé, après familiarisation du mouvement isocinétique sur la machine (cinq mouvements), une série de cinq répétitions maximales de rotation à la vitesse de 60 degrés par seconde suivie d'une pause de 20 secondes.

Cinq répétitions maximales à la vitesse de 120 degrés par seconde suivie d'un repos de 20 secondes ont ensuite été demandées avant d'enchaîner cinquante répétitions maximales à la vitesse de 300 degrés par seconde soit l'équivalent d'un test de fatigue. Nous avons choisi ce test afin de se rapprocher d'un mouvement réalisé sur le winch ou sur la colonne.

C'est pourquoi la vitesse de 300 degrés par seconde a été particulièrement sélectionnée et 50 répétitions ont été demandées, afin de déterminer un effort d'une minute environ, qui correspond approximativement à la durée d'utilisation d'un winch ou d'une colonne.

Tous les sujets ont été testés sur les deux épaules selon le même protocole en notifiant le bras dominant et le non dominant et en débutant par un coté de façon aléatoire.

Tous les sujets ont bénéficiés d'encouragements verbaux afin d'obtenir une meilleure concentration pour une réalisation maximale des tests.

Toutes les informations anthropomorphiques avaient été pour chaque personne (sportif ou témoin) mémorisées au préalable.

Les données numériques obtenues lors de ces tests ont été enregistrées par informatique, permettant le calcul en fonction du poids et le calcul des ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes. Le dynamomètre a été au préalable étalonné selon les recommandations du constructeur.

2.2-Méthode statistique

Les paramètres ont été décrits selon leur moyenne et écart type en fonction de chacune des deux populations. Afin de comparer les populations cas-témoins, il a été utilisé un logiciel de statistique SPSS 10.0 (Inc. Chicago, Illinois, USA). Nous avons utilisé un test non paramétrique de wilcoxon apparié, en raison d'une population de 12 cas, afin de comparer l'ensemble des paramètres isocinétiques ; ainsi qu'un test de Spearman par l'analyse des corrélations entre les tests de force et de travail. Une différence a été jugée significative pour p inférieur à 0.05.

3-RESULTAT :

3.1-Profil des populations

3.1.1-Taille de la population

Cette étude cas-témoins a été réalisée à partir de 2 groupes. Le premier groupe était représenté par 12 sujets sportifs pratiquant la voile au niveau international. Le deuxième groupe était constitué de 12 personnes appariées et identifiées comme les témoins.

3.1.2-Profil de la population des sujets témoins étudiés

La population des témoins était composée de sujet de sexe masculin ayant un âge compris entre 27 et 46 ans (age moyen : 33,16 ans), avec un poids compris entre 60 et 95 kilogrammes (poids moyen : 74,83 kilogrammes) et une taille comprise entre 1,64 mètres et 1,85 mètres (taille moyenne : 1,78 mètres). Un seul des témoins était gaucher.

3.1.3-Profil de la population des sujets sportifs de haut niveau

Cette population était composée de 12 sujets masculins d'âge différent s'étalant de 24 à 42 ans (moyenne 33,25 ans) et faisant un poids de 67 à 94 kilogrammes (moyenne de poids : 79,4 kilogrammes) ainsi qu'une taille comprise entre 1,67 mètres et 1,90 mètres (moyenne de taille : 1,78 mètres). Tous les sujets étaient droitiers.

Aucun sujet n'a présenté de critères d'exclusion.

	Sportifs	Témoins	p
Age (en année)	33.25 +/- 5.02	33.16 +/- 6.5	ns
Poids (en Kilogrammes)	79.41 +/- 7.2	74.83 +/- 12.47	ns
Taille (en mètres)	1.78 +/- 0.06	1.78 +/- 0.05	ns

Tableau 1 : Comparaison cas-témoins en fonction des données anthropomorphiques
Ns= non significatif

Les sportifs et les témoins ont été appariés en fonction de l'âge et du sexe. Le poids et la taille entre les deux populations ne présentent pas de différence significative.

3.2. Résultat de l'étude

3.2.1-comparaison cas-témoins du pic de force des rotateurs

3.2.1.1-Comparaison cas-témoins des rotateurs du bras dominant

La force des rotateurs externes et internes du bras dominant des sportifs aux trois vitesses de rotation (60, 120 et 300 degrés par seconde) est significativement plus importante que chez les témoins.

Bras dominant	Sportifs	Témoins	p
RE 60 °/ sec (Nm)	40.25 +/- 11.56	26.58 +/- 7.35	0.006
RE 120 °/ sec (Nm)	36.92 +/- 12.24	21 +/- 5.36	0.005
RE 300 °/ sec (Nm)	25.33 +/- 7.01	16.17 +/- 2.12	0.015
RI 60 °/ sec (Nm)	71.17 +/- 12.76	50.50 +/- 9.07	0.002
RI 120 °/ sec (Nm)	68.08 +/- 10.51	43.25 +/- 7.65	0.003
RI 300 °/ sec (Nm)	51.58 +/- 11.72	30.5 +/- 4.35	0.005

Tableau 2 : Comparaison du pic de force des rotateurs externes (RE) et des rotateurs internes (RI) entre les sportifs et les sujets témoins aux trois vitesses de rotation du bras dominant.

3.2.1.2-Comparaison cas-témoins des rotateurs du bras non dominant

La force des rotateurs externes et internes du bras non dominant aux trois vitesses de rotation est significativement plus importante chez les sportifs par rapport aux sujets

témoins.

Bras non dominant	Sportifs	Témoins	p
RE 60 °/ sec (Nm)	40 +/-12.32	26.58 +/- 9.28	0.021
RE 120 °/ sec (Nm)	36.08 +/- 12.67	22.42 +/- 9.15	0.002
RE 300 °/ sec (Nm)	24.5 +/- 6.41	16.83 +/- 3.01	0.002
RI 60 °/ sec (Nm)	69.42 +/- 13	48.92 +/- 11.62	0.01
RI 120 °/ sec (Nm)	64 +/- 13.1	43.08 +/- 13.09	0.008
RI 300 °/ sec (Nm)	46.83 +/- 13.79	28 +/- 8.24	0.008

Tableau 3 : Comparaison du pic de force des rotateurs externes (RE) et des rotateurs internes (RI) entre les sportifs et les sujets témoins aux trois vitesses de rotation du bras non dominant.

3.2.2- Comparaison cas-témoins du pic de force des rotateurs rapportés au poids.

3.2.2.1- Comparaison cas-témoins des rotateurs rapportés au poids du bras dominant.

Les sportifs présentent une différence significative de force des rotateurs externes et internes et ce même rapporté au poids, sur le bras dominant par rapport aux sujets témoins.

Bras dominant	Sportifs	Témoins	P
RE 60 °/sec sur le poids (Nm/kg)	0.49 +/- 0.12	0.35 +/- 0.10	0.005
RE 120 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.45 +/- 0.13	0.27 +/- 0.06	0.003

RE 300 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.31 +/- 0.77	0.21 +/- 0.03	0.004
RI 60 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.8 +/- 0.27	0.67 +/- 0.11	0.003
RI 120 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.85 +/- 0.1	0.58 +/- 0.12	0.002
RI 300 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.64 +/- 0.13	0.41 +/- 0.1	0.003

Tableau 4 : Comparaison du pic de force des rotateurs externes (RE) et des rotateurs internes (RI) entre les sportifs et les sujets témoins aux trois vitesses de rotation du bras dominant rapportés au poids.

3.2.2.2-Comparaison cas-témoins des rotateurs rapportés au poids du bras non dominant.

Les résultats ont montré une différence significative avec des valeurs plus élevées chez les sujets pratiquant la voile. Les mesures de la force des rotateurs externes et internes des sportifs, aux 3 vitesses utilisés (60, 120 et 300 degrés par seconde) comparés respectivement aux mesures des sédentaires étaient significativement plus important au niveau des bras non dominant, même quand les valeurs sont rapportées au poids.

Bras non dominant	Sportifs	Témoins	p
RE 60 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.49 +/- 0.13	0.35 +/- 0.09	0.01
RE 120 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.44 +/- 0.14	0.29 +/- 0.09	0.02
RE 300 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.3 +/- 0.07	0.22 +/- 0.04	0.01
RI 60 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.87 +/- 0.15	0.65 +/- 0.11	0.006
RI 120 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.8 +/- 0.15	0.56 +/- 0.11	0.005

RI 300 °/ sec sur le poids (Nm/kg)	0.58 +/- 0.16	0.37 +/- 0.08	0.005
------------------------------------	---------------	---------------	-------

Tableau 5 : Comparaison du pic de force des rotateurs externes (RE) et des rotateurs internes (RI) entre les sportifs et les sujets témoins aux trois vitesses de rotation du bras non dominant rapportés au poids.

3.2.3- Comparaison cas-témoins du ratio des rotateurs

Il n'existe pas de différence significative entre les sujets pratiquant la voile et les sujets témoins pour les ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes aux 3 vitesses (60, 120 et 300 degrés par seconde) et ce indifféremment du coté dominant ou non.

Bras dominant	Sportifs	Témoins	p
RE/RI 60 °/ sec	0.55 +/- 0.08	0.51 +/- 0.07	ns
RE/RI 120 °/ sec	0.53 +/- 0.12	0.48 +/- 0.07	ns
RE/RI 300 °/ sec	0.48 +/- 0.06	0.53 +/- 0.08	ns

Tableau 6 : Comparaison du ratio de pic de force des rotateurs externes sur les rotateurs internes entre les sportifs et les sujets témoins aux trois vitesses de rotation du bras dominant.

Bras non dominant	Sportifs	Témoins	p
RE/RI 60 °/ sec	0.56 +/- 0.08	0.53 +/- 0.12	ns
RE/RI 120 °/ sec	0.54 +/- 0.09	0.51 +/- 0.11	ns
RE/RI 300 °/ sec	0.53 +/- 0.09	0.63 +/- 0.17	ns

Tableau 7: Comparaison du ratio de pic de force des rotateurs externes sur les rotateurs internes entre les sportifs et les sujets témoins aux trois vitesses de rotation du bras non dominant.

3.2.4- Comparaison cas-témoins du travail des rotateurs

Les mesures du travail des rotateurs externes et internes à 300 degrés par seconde ont montré une différence significative en faveur des sportifs que ce soit du côté dominant ou non dominant. Ils développent une force sur la distance plus grande que les sujets témoins aussi bien en rotation interne qu'externe.

Bras dominant	Sportifs	Témoins	P
Travail RE 300 °/ sec (J)	1105.42 +/- 349.71	502 +/- 184.02	0.005
Travail RI 300 °/ sec (J)	2655.25 +/- 771.71	1351 +/- 316.31	0.004

Tableau 8 : Comparaison du travail des rotateurs externes et internes entre les sportifs et les sujets témoins à 300 degrés par seconde du bras dominant.

Bras non dominant	Sportifs	Témoins	p
Travail RE 300 °/ sec (J)	999.83 +/- 312.48	546.58 +/- 152.36	0.003
Travail RI 300 °/ sec (J)	2248.42 +/- 805.80	1147 +/- 348.22	0.004

Tableau 9 : Comparaison du travail des rotateurs externes et internes entre les sportifs et les sujets témoins à 300 degrés par seconde du bras non dominant.

3.2.5-Comparaison bras dominant et non dominant.

3.2.5.1- Comparaison du pic de force des rotateurs externes et des rotateurs internes entre le bras dominant et le bras non dominant chez les sportifs.

En comparant les mesures de force des rotateurs externes dans la population des sportifs aux 3 vitesses de rotation, nous n'avons pas constaté de différence significative entre le bras dominant et le bras non dominant. Le mouvement de force des rotateurs internes du bras dominant des sujets sportifs est significativement plus important par rapport au bras non dominant à vitesse rapide (120 et 300 degrés par seconde). Ce résultat n'est pas retrouvé à vitesse lente (60 degrés par seconde).

Sportifs	Bras dominant	Bras non dominant	p
RE 60 °/ sec (Nm)	40.25 +/- 11.56	40 +/- 12.32	ns

RE 120 °/ sec (Nm)	36.92 +/- 12.24	36.08 +/- 12.67	ns
RE 300 °/ sec (Nm)	25.33 +/- 7.01	24.5 +/- 6.41	ns
RI 60 °/ sec (Nm)	71.17 +/- 12.76	69.42 +/- 13	ns
RI 120 °/ sec (Nm)	68.08 +/- 10.51	64 +/- 13.1	0.087
RI 300 °/ sec (Nm)	51.58 +/- 11.72	46.83 +/- 13.79	0.020

Tableau 10 : Comparaison du pic de force des rotateurs externes et des rotateurs internes entre le bras dominant et le bras non dominant chez les sportifs aux trois vitesses.

3.2.5.2- Comparaison du pic de force des rotateurs externes et des rotateurs internes entre le bras dominant et le bras non dominant chez les sujets témoins.

Il n'y a pas de différence significative entre le bras dominant et le bras non dominant aussi bien en ce qui concerne les rotateurs externes que les rotateurs internes chez les témoins aux trois vitesses.

Témoins	Bras dominant	Bras non dominant	p
RE 60 °/ sec (Nm)	26.58 +/- 7.35	26.58 +/- 9.28	ns
RE 120 °/ sec (Nm)	21 +/- 5.36	22.42 +/- 9.15	ns
RE 300 °/ sec (Nm)	16.17 +/- 2.12	16.83 +/- 3.01	ns
RI 60 °/ sec (Nm)	50.50 +/- 9.07	48.92 +/- 11.62	ns
RI 120 °/ sec (Nm)	43.25 +/- 7.65	43.08 +/- 13.09	ns
RI 300 °/ sec (Nm)	30.5 +/- 4.35	28 +/- 8.24	ns

Tableau 11 : Comparaison du pic de force en newton-mètre des rotateurs externes et internes entre le bras dominant et le bras non dominant chez les sujets témoins aux trois vitesses.

3.2.5.3-Comparaison des ratios du pic de force des rotateurs externes sur les rotateurs internes entre le bras dominant et non dominant chez les sportifs.

Il n'y a pas de différence significative entre le bras dominant et le bras non dominant pour les mesures des ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes chez les sportifs pratiquant la voile.

Sportifs	Bras dominant	Bras non dominant	p
RE/RI 60 °/ sec	0.55 +/- 0.08	0.56 +/- 0.08	ns
RE/RI 120 °/ sec	0.53 +/- 0.12	0.54 +/- 0.09	ns
RE/RI 300 °/ sec	0.48 +/- 0.06	0.53 +/- 0.09	ns

Tableau 12 : Comparaison du rapport des pics de force des rotateurs externes sur les rotateurs internes entre le bras dominant et le bras non dominant chez les sportifs aux trois vitesses.

3.2.5.4- Comparaison des ratios du pic de force des rotateurs externes sur les rotateurs internes entre le bras dominant et le bras non dominant chez les sujets témoins.

Nous n'avons pas constaté de différence significative entre le coté dominant et non dominant pour les mesures des ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes chez les sujets témoins.

Témoins	Bras dominant	Bras non dominant	p
RE/RI 60 °/ sec	0.51 +/- 0.07	0.53 +/- 0.12	ns
RE/RI 120 °/ sec	0.48 +/- 0.07	0.51 +/- 0.11	ns
RE/RI 300 °/ sec	0.53 +/- 0.08	0.63 +/- 0.17	ns

Tableau 13 : Comparaison du rapport des pics de force des rotateurs externes sur les rotateurs internes entre le bras dominant et le bras non dominant chez les témoins aux trois vitesses.

3.2.5.5- Comparaison du travail des rotateurs externes entre le bras dominant et le bras non dominant pour les deux populations.

Il n'existe pas de différence significative entre le bras dominant et le bras non dominant, aussi bien chez les sportifs que chez les sujets témoins, pour le travail des rotateurs externes.

Travail RE 300 °/ sec (J)	Bras dominant	Bras non dominant	p
Sportifs	1105.42 +/- 349.71	999.83 +/- 312.48	ns
Témoins	502 +/- 184.02	546.58 +/- 152.36	ns

Tableau 14 : Comparaison du travail des rotateurs externes à 300 degrés par seconde entre le bras dominant et le bras non dominant dans les deux populations.

3.2.5.6- Comparaison du travail des rotateurs internes entre le bras dominant et non dominant dans les deux populations.

Une différence significative est mise en évidence entre les sportifs et les témoins pour la mesure du travail des rotateurs internes entre le bras dominant et le non dominant.

Travail RI 300 °/ sec (J)	Bras dominant	Bras non dominant	p
Sportifs	2655.25 +/- 771.71	2248.42 +/- 805.8	0.003
Témoins	1351 +/- 316.31	1147 +/- 348.22	0.023

Tableau 15 : Comparaison du travail des rotateurs internes à 300 degrés par seconde entre le bras dominant et le bras non dominant dans les deux populations.

3.2.6- Etude de corrélation entre la force des rotateurs externes aux deux bras et la force des rotateurs internes aux deux bras chez les sportifs

Il existe une relation, chez les sujets sportifs, pour la force des rotateurs externes entre le coté dominant et le coté non dominant ; ainsi que pour la force des rotateurs internes entre le bras dominant et le bras non dominant.

Indifféremment de la dominance du bras il existe une corrélation entre la force des rotateurs externes et la force des rotateurs internes.

Sujets sportifs	RE 300 °/ sec bras dominant	RE 300 °/ sec bras non dominant	RI 300 °/ sec bras dominant	RI 300 °/ sec bras non dominant
RE 300 °/ sec bras dominant	1.000	0.714**	0.851**	0.806**
RE 300 °/ sec bras non dominant	0.714**	1.000	0.814**	0.807**
RI 300 °/ sec bras dominant	0.851**	0.814**	1.000	0.951**
RI 300 °/ sec bras non dominant	0.806**	0.807**	0.951**	1.000

Tableau 16 : Corrélation entre la force des rotateurs externes et internes entre eux selon la dominance du bras chez les sportifs

* corrélation avec p à 0.05

** corrélation avec p à 0.01

3.2.7- Etude de corrélation entre le travail des rotateurs et la force des rotateurs chez les sportifs

Chez les sportifs, il existe une corrélation entre le travail et la force des rotateurs externes et internes pour le bras dominant à 300 degrés par seconde. De même il existe une corrélation entre le travail des deux rotateurs du bras dominant et la force et des rotateurs internes du bras non dominant. Il n'y a pas de corrélation entre le travail des rotateurs externes du bras non dominant à 300 degrés par seconde et la force des deux rotateurs indifféremment de la dominance du bras (ligne 2 du tableau).

Sujets sportifs	RE 300 °/ sec bras dominant	RE 300 °/ sec bras non dominant	RI 300 °/ sec bras dominant	RI 300 °/ sec bras non dominant
Travail RE 300 °/ sec bras dominant	0.886**	0.526	0.664*	0.615*
Travail RE 300 °/ sec bras non dominant	-0.228	0.228	-0.105	-0.175
Travail RI 300 °/				

sec bras dominant	0.918**	0.775**	0.972**	0.909**
Travail RI 300 °/ sec bras non dominant	0.767**	0.747**	0.853**	0.909**

Tableau 17 : Etude de corrélation entre le travail à 300 degrés par seconde des différents rotateurs avec la force des rotateurs externes et internes sur le bras dominant et non dominant.

* corrélation avec p à 0.05

** corrélation avec p à 0.01

3.2.8- Etude de corrélation entre le travail des rotateurs externes et internes des deux bras chez les sportifs

Il existe une corrélation entre le travail des rotateurs internes à 300 degrés par seconde du bras dominant et le travail des rotateurs internes controlatéraux. Par contre le lien n'est pas significatif entre le travail des rotateurs externes du bras non dominant et les autres paramètres (ligne 2 du tableau).

Sujets sportifs	Travail RE 300 °/ sec bras dominant	Travail RE 300 °/ sec bras non dominant	Travail RI 300 °/ sec bras dominant	Travail RI 300 °/ sec bras non dominant
Travail RE 300 °/ sec bras dominant	1.000	-0.049	0.790**	0.615*
Travail RE 300 °/ sec bras non dominant	-0.049	1.000	-0.126	-0.189
Travail RI 300 °/ sec bras non dominant	0.790**	-0.126	1.000	0.818**
Travail RI 300 °/ sec bras dominant	0.615*	-0.189	0.818**	1.000

Tableau 18 : Etude de corrélation entre le travail des rotateurs externes et internes à 300 degrés par seconde et le travail des mêmes rotateurs chez les sportifs.

* corrélation avec p à 0.05

** corrélation avec p à 0.01

3.2.9- Etude de corrélation entre la force des rotateurs externes et internes des deux bras dans la population des témoins.

Chez les sujets témoins, peu de liens sont retrouvés entre la force des rotateurs internes et la force des rotateurs externes quel que soit le bras dominant ou non dominant.

Sujets témoins	RE 300 °/ sec bras dominant	RE 300 °/ sec bras non dominant	RI 300 °/ sec bras non dominant	RI 300 °/ sec bras non dominant
RE 300 °/ sec bras dominant	1.000	0.442	0.397	0.860**
RE 300 °/ sec bras non dominant	0.442	1.000	0.294	0.331
RI 300 °/ sec bras dominant	0.397	0.294	1.000	0.520
RI 300 °/ sec bras non dominant	0.860**	0.331	0.520	1.000

Tableau 19 : Etude de corrélation entre la force des rotateurs externes et internes entre le bras dominant et le bras non dominant à 300 degrés par seconde chez les sujets témoins.

* corrélation avec p à 0.05

** corrélation avec p à 0.01

3.2.10- Etude de corrélation entre le travail des rotateurs et la force des rotateurs chez les témoins aux deux bras

Chez le sujet témoin il existe un lien significatif entre le travail des rotateurs externes du bras non dominant et la force des rotateurs externes des deux bras. Ceci n'a pas été retrouvé pour le travail de ces mêmes rotateurs du bras dominant.

De même, il existe un lien significatif entre le travail des rotateurs internes du bras non dominant et la force des rotateurs internes des deux bras.

Sujets témoins	RE 300 °/ sec bras dominant	RE 300 °/ sec bras non dominant	RI 300 °/ sec bras dominant	RI 300 °/ sec bras non dominant
Travail RE 300 °/ sec bras dominant	0.524	0.368	0.123	0.375
Travail RE 300 °/ sec bras non dominant	0.754**	0.764**	0.435	0.557
Travail RI 300 °/ sec bras dominant	0.165	0.157	0.775**	0.417
Travail RI 300 °/ sec bras non dominant	0.467	0.182	0.733**	0.764**

Tableau 20 : Etude de corrélation entre le travail des rotateurs externes et internes aux deux bras et la force des rotateurs externes et internes aux deux bras.

* corrélation avec p à 0.05

** corrélation avec p à 0.01

3.2.11- Etude de la corrélation entre le travail des rotateurs externes et internes aux deux bras chez les témoins

Seules sont retrouvées des corrélations entre le travail des rotateurs internes à 300 degrés par seconde du bras dominant et le travail des rotateurs internes du bras controlatéral.

Sujets témoins	Travail RE 300 °/ sec bras dominant	Travail RE 300 °/ sec bras non dominant	Travail RI 300 °/ sec bras dominant	Travail RI 300 °/ sec bras non dominant
Travail RE 300 °/ sec bras dominant	1.000	0.413	0.343	0.259
Travail RE 300 °/ sec bras non dominant	0.413	1.000	0.077	0.224
Travail RI 300 °/ sec bras dominant	0.343	0.077	1.000	0.832**
Travail RI 300 °/ sec bras non dominant	0.259	0.224	0.832**	1.000

Tableau 21 : Etude de corrélation entre le travail des rotateurs externes et internes aux deux bras à 300 degrés par seconde chez les témoins.

* corrélation avec p à 0.05

** corrélation avec p à 0.01

3.2.12-Etude du pic de force des rotateurs externes et internes chez les sujets sportifs en fonction de leur poste

On constate des résultats de pic de force des muscles rotateurs externes et internes supérieurs chez les sujets sportifs au poste avant et grand-voile aux deux bras et aux trois vitesses.

Bras dominant (N/m)	RE 60 °/sec	RE 120 °/sec	RE 300 °/sec
Tacticien (4)	34	31	24
Grand-voile (3)	48	46	29
Avant (2)	49	47	29
Colonne (1)	37	19	18
Piano (2)	32	31	22

Tableau 22 : moyenne des pics de force des rotateurs externes du bras dominant aux trois vitesses angulaires chez les sujets sportifs.

Bras dominant (N/m)	RI 60 °/sec	RI 120 °/sec	RI 300 °/sec
Tacticien	63	61	46
Grand-voile	83	80	61
Avant	76	70	52
Colonne	73	70	53
piano	63	59	46

Tableau 23 : moyenne des pics de force des rotateurs internes du bras dominant aux trois vitesses angulaires chez les sujets sportifs.

Bras non dominant (N/m)	RE 60°/sec	RE 120°/ sec	RE 300°/sec
Tacticien	35	34	22
Grand-voile	49	43	28
Avant	48	43	31

Colonne	38	34	22
Piano	30	25	20

Tableau 24 : moyenne des pics de force des rotateurs externes du bras non dominant aux trois vitesses angulaires chez les sujets sportifs.

Bras non dominant (N/m)	RI 60 °/sec	RI 120°/ sec	RI 300°/sec
Tacticien	63	62	43
Grand-voile	82	72	51
Avant	74	70	55
Colonne	61	58	46
piano	62	52	39

Tableau25 : moyenne des pics de force des rotateurs internes du bras non dominant aux trois vitesses angulaires chez les sujets sportifs.

3.2.13-Etude du travail des rotateurs externes et internes chez les sujets sportifs en fonction de leur poste

Les résultats du travail des rotateurs externes et internes des sportifs aux postes grand-voile et avant sont globalement supérieurs aux résultats des autres sujets aux deux bras.

Travail à 300°/sec (J)	RE dominant	RI dominant	RE non dominant	RI non dominant
Tacticien	951	2335	1001	2011
Grand-voile	1210	3029	1110	2580
Avant	1317	2965	1061	2691
Colonne	739	2548	861	1940
piano	1227	2476	839	1937

Tableau 26 : moyenne du travail des rotateurs externes et internes du bras dominant et du bras non dominant à 300 degrés par seconde chez les sportifs.

3.3-Résumé des résultats significatifs

La force des rotateurs externes et des rotateurs internes est significativement plus importante chez le sujet sportif par rapport au sujet sédentaire quelle que soit la vitesse d'évaluation de l'épaule étudiée. Ces résultats sont confirmés après avoir rapporté les valeurs au poids des sujets.

Les ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes ne sont pas différents entre l'épaule dominante et non dominante que le sujet soit sportif ou sédentaire dans notre étude.

Il existe un bon équilibre des rotateurs chez les sportifs et les sédentaires (valeurs comprises entre 0.48 et 0.55 du côté dominant et 0.51 à 0.63 du côté non dominant).

Pour le test de fatigue, les sujets sportifs développent un travail plus important que les sujets témoins aussi bien pour les rotateurs internes que les rotateurs externes et quelle que soit l'épaule.

Les sujets sportifs développent une force plus importante en rotation interne à vitesse rapide (120 et 300 degrés par seconde) du côté dominant par rapport au côté non dominant. Ceci n'est pas constaté chez les sujets sédentaires et n'influence pas significativement les ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes qui restent équilibrés. Le travail des rotateurs internes du côté dominant lors du test de fatigue est supérieur par rapport au côté non dominant chez les sujets sportifs mais également chez les sujets témoins.

L'analyse des corrélations montre de nombreux liens entre les paramètres de force chez le sujet sportif qui ne sont pas retrouvés chez le sujet témoin.

4-DISCUSSION

De plus en plus fréquemment, les médecins du sport sont amenés à réaliser des tests de mesure de la force musculaire notamment de l'épaule dans un but physiologique ou pathologique.

On peut ainsi étudier la force des agonistes-antagonistes comme la coiffe des rotateurs.

Sur le plan individuel, ces tests de mesure de force permettent chez les sportifs un suivi afin de contrôler la préparation physique au cours de la saison comme dans l'étude de Bast et al. en 1998. Celle-ci démontre l'augmentation des valeurs des pics de force chez les volontaires entraînés uniquement en mode excentrique par rapport au groupe de volontaires entraînés selon le mode concentrique et excentrique [3].

Mont et al. en 1994 ont trouvé une augmentation de la vitesse de service chez des joueurs de tennis professionnels entraînés en mode concentrique ou excentrique de 11% par rapport au groupe contrôle sans entraînement (résultats obtenus suite à une phase d'entraînement en deux modes entouré d'un pré-test et d'un post-test).[34]

Certaines études se sont attachées à comparer des sujets sportifs entre eux ou par rapport à des sujets témoins. Codine et al. ont étudiés, en 1996, l'influence de la discipline sportive sur la balance musculaire de l'épaule chez des joueurs de base-ball, de tennis et des coureurs de fond comparés à des sujets témoins. La balance musculaire exprimée en ratio de pic de force montre une prédominance du bras dominant chez les joueurs de base-ball (1,77 contre 1,4 à 60 degrés par seconde, 1,98 contre 1,60 à 180 degrés par seconde, 2,22 contre 1,81 à 300 degrés par secondes) et des ratios (rotateurs internes sur les rotateurs externes) équivalent entre les coureurs de fond et les témoins non sportifs (1,3 à 1,5).[11]

L'exploration isocinétique permet aussi de mesurer les conséquences mécaniques d'une pathologie connue (tendinopathie de la coiffe ou instabilité par exemple) ou d'une chirurgie de l'épaule (suture de coiffe ou réalisation d'une butée). En 1987 Walker et al. ont montrés la récupération de la force motrice des muscles de la coiffe à 6 mois et à 1 an après une chirurgie de l'épaule (réparation de rupture de la coiffe des rotateurs). En moyenne, ils constatent une récupération de la force motrice des rotateurs externes de 90% par rapport aux valeurs normales à 1 an de la chirurgie. [44]

Pour permettre cela il faut que les tests soient simples à réaliser et reproductible.

4.1-choix du positionnement du test

Pour réaliser un test isocinétique de l'épaule, on peut utiliser différentes positions. Ce qui permet d'étudier ainsi les mouvements d'abduction- adduction, de flexion - extension et les rotations externes et internes des muscles de l'épaule.

Pour ce faire le sujet peut être installé debout, assis ou couché.

La position assise a eu notre préférence car elle permet une certaine rigueur d'installation (sangle, confort, sécurité et reproductibilité). De plus dans cette position, les compensations du tronc sont les moins importantes.

La position debout nécessite un travail d'équilibration du tronc à la verticale des pieds et est donc dépendant de la musculature lombopelvienne (compensation par rotation du tronc).

La position couchée n'a pas été retenue car peu intéressante sur le plan fonctionnel. La verticalité par définition n'existe plus et les informations visuelles sont supprimées.

Dans l'étude de Leger et al. sur l'évaluation isocinétique des rotateurs de l'épaule chez des sujets sains, la position utilisée est la position debout appuyée. Cette technique leur permettait de pallier l'instabilité de la position assise due à l'absence d'appui au sol et d'améliorer la position debout simple. [27]

Croisier et al. ont préféré réaliser leur étude sur les déséquilibres musculaires de l'épaule chez les joueurs de tennis en décubitus dorsal. [13]

Mais cette dernière position pose un problème de douleur de l'épaule. Car cette position de l'épaule (en abduction à 90 degrés) est instable et entraîne une gêne douloureuse lors de la réalisation de l'effort.

La majorité des études sont réalisées en position assise : Thomas et al. en 1989 [8], Mont et al. en 1994 [34], Bayios et al. en 2001 [4], Hughes et al. en 1999 [24], Bast et al. en 1998 [3], Bartlett et al. en 1989 [2] etc.

En ce qui concerne l'axe du mouvement, nous avons retenu la rotation car ce mouvement se rapproche au plus juste du geste sportif effectué sur le voilier par les marins lorsqu'ils manipulent le winch.

Pour tester les rotateurs de l'épaule, plusieurs possibilités de positionnement de l'épaule sont possibles. Les

différents plans sont définis par rapport au grand axe du corps du sujet (frontal, sagittal, horizontal). Les plus utilisées dans la littérature sont :

90 degrés d'abduction dans le plan frontal

45 degrés d'abduction avec 30 degrés de flexion correspondant au plan scapulaire

L'étude de Croisier et al. en 1998 propose l'exploration isocinétique avec le bras à 90 degrés d'abduction dans le plan frontal en décubitus dorsal. Cette position particulière de l'épaule est celle qui se rapproche le plus du geste de l'armé (intérêt particulièrement important pour l'évaluation des joueurs de tennis). [13]

Tis et al. ont étudiés en 1996 l'effet du positionnement de l'épaule sur l'exploration isocinétique musculaire chez des femmes. Ils ont comparé ainsi le plan frontal et le plan scapulaire en position allongée. Les résultats montrent une différence significative pour le pic de force (de 19 à 24,7 Newton-mètres pour le plan scapulaire et de 15,1 à 22,7 Newton-mètres pour le plan frontal), le travail total (du 25 à 32,5 joules pour le plan scapulaire et de 18,4 à 27,9 Joules pour le plan frontal) et la puissance moyenne (de 17,5 à 37,9 Watts pour le plan scapulaire et de 12,8 à 33 Watts pour le plan frontal) en faveur du plan scapulaire. [42]

De même l'étude de Hartsell et al. qui compare en 1997 la force des muscles rotateurs de l'épaule chez des sujets opérés selon le mode excentrique et concentrique retrouve des résultats significativement plus importants du pic de force des rotateurs externes et internes dans le plan scapulaire par rapport au plan neutre (0 degré d'abduction coude au corps) avec des résultats par exemple de 53 à 55 Newton-mètres pour les rotateurs internes en concentrique à 240 degrés par seconde dans le plan scapulaire contre 50 à 52 Newton-mètres dans le plan neutre. [21]

La position de l'épaule dans le plan scapulaire est la plus utilisée. Cette position met en congruence la tête humérale dans la cavité glénoïde permettant un meilleur confort et ainsi d'optimiser les mouvements de rotation de cette articulation. Ceci donne le plus grand rayon d'action des rotateurs internes et externes en minimisant la gêne ressentie lors du test. De plus c'est celle qui induit le moins de contrainte sur la coiffe des rotateurs donc par conséquent celle qui diminue le risque de blessure.

Parce qu'il permet une tension musculaire des rotateurs et des abducteurs optimale, le plan scapulaire donne de meilleurs résultats en ce qui concerne les chiffres de la force des rotateurs externes lors des tests réalisés sur le dynamomètre. [20]

De plus le positionnement de l'épaule dans le plan scapulaire est celui qui se rapproche le plus du mouvement effectué par l'épaule lors de l'utilisation du winch par les marins. Les sportifs pratiquant la voile sur le cabestan ou winch sont en position penchée en avant afin de réaliser un mouvement de rotation avec antéflexion de l'épaule. Ce mouvement fait intervenir les muscles agonistes-antagonistes par la rotation pratiquée dans le sens horaire et anti-horaire.

Pour toutes ces raisons nous avons choisi préférentiellement le plan scapulaire en position assise pour cette étude.

4.2-choix du mode de contraction musculaire

Pour mesurer la force, plusieurs modes de contractions musculaires sont possibles. L'isométrie permet de mesurer la force avec une vitesse de déplacement articulaire nulle sous différentes angulations articulaires.

Le mode isocinétique que nous avons choisi permet de mesurer la force des groupes musculaires à différentes vitesses constantes sur le dynamomètre de 60 degrés par seconde à 300 degrés par seconde. Les vitesses de rotation choisies lors des tests sont 60 et 120 degrés par seconde et elles correspondent à des tests isocinétiques permettant de développer une force importante. La vitesse angulaire de 300 degrés par seconde permet de mimer un test de fatigue.

Les choix de vitesse du dynamomètre (60, 120 et 300 degrés par seconde) ainsi que le nombre de répétitions ont été déterminés en fonction des données recueillies dans la littérature.

Nous avons choisi cinq répétitions aux vitesses de 60 et 120 degrés par seconde. Ce protocole est utilisé fréquemment comme par exemple l'étude de Croisier et al sur l'évaluation des déséquilibres musculaire de l'épaule chez les joueurs de tennis (3 répétitions à 60 et 120 degrés par seconde et 5 répétitions à 240 et 400 degrés par seconde) [13]. L'étude de Calmels et al. sur l'analyse isocinétique de l'épaule auprès de 36 enfants utilise des vitesses de 60, 120, 180, 300 degrés par seconde mais à 6 contractions par vitesse. [9]

L'étude de Brunon et al. sur l'évolution de la balance musculaire des rotateurs en fonction de l'activité sportive utilise des vitesses de 60, 180 et 300 degrés par seconde avec 5 mouvements à 60 et 180 degrés par seconde et 10 à 300 degrés par seconde. [7]

La vitesse la plus utilisée dans la littérature est 60 degrés par seconde (Sporrong et al en 1999 (test à 60 degrés par seconde) [39], Walker et al. en 1987 (tests à 60 et 180 degrés par seconde) [44], Mayer et al. en

1994 (deux études avec 5 répétitions à 60, 180, 240 et 300 degrés par seconde) [30], Mont et al. en 1994 (tests à 60 et 180 degrés par seconde) [34], Greenfield et al. en 1990 (test à 60 degrés par seconde) [20], Codine et al. en 1997 (60, 180 et 300 degrés par seconde) [11], Timm et al. en 1997 (tests à 60, 120, 180, 240 et 300 degrés par seconde) [41], Dauty et al. en 2003 (tests à 60 et 120 degrés par seconde) [17] etc).

Le test à 60 degrés par seconde est intéressant car il correspond à un test de force alors que celui à 120 degrés par seconde ressemble plus à la réalisation du geste pratiqué par les marins sur le winch (vitesse plus élevée) où la force est moins requise.

De plus nous avons décidé pour la troisième vitesse de la réaliser à 300 degrés par seconde avec 50 répétitions afin de simuler un test de fatigue correspondant à l'équivalent de l'effort réalisé par les sportifs sur le winch ou la colonne. On retrouve dans la littérature quelques tests de fatigue. Ellenbecker et al. en 1999 qui ont fait réaliser 20 répétitions à 300 degrés par seconde chez les joueurs de tennis junior [19]. Wilk et al. en 1993 ont utilisés un test avec 15 répétitions à 300 degrés par seconde [47]. L'effort pratiqué sur les cabestans est réalisé sur une durée d'environ une minute lors d'une course de voilier d'où l'intérêt du nombre élevé de répétitions lors du test de fatigue. On rappelle que le mouvement à deux bras pratiqué sur la colonne par les marins permet une répartition des forces sur les deux bras de façon équivalente. Sur le winch, le mouvement est réalisé avec un seul bras, le bras dominant.

Tous ces tests étaient réalisés avec stimulation verbale pour encourager le sujet et ainsi améliorer la performance. Ceci est tout particulièrement important lors de l'épreuve d'endurance (50 répétitions).

4.3-conclusion du choix des critères de la méthode

En conclusion nous avons réalisé une étude isocinétique des muscles rotateurs de l'épaule en mode concentrique. Les sujets étaient assis avec l'épaule dans le plan scapulaire. Nous avons choisi de réaliser 5 répétitions à 60 et 120 degrés par seconde et 50 à 300 degrés par seconde afin de simuler une épreuve de force et une épreuve d'endurance comparable aux efforts réalisés sur un voilier et en accord avec les méthodes déjà utilisées par d'autres auteurs.

4.4-comparaison des populations

4.4.1-cas témoins

Les témoins ont été sélectionnés pour être appariés en fonction de leur sexe et de l'âge à la population des sujets sportifs professionnels.

Ils étaient tous des sujets sédentaires et ne pratiquaient pas de sport intéressant les membres supérieurs. Ceci afin de ne pas perturber les résultats liés à une pratique intensive professionnelle ou sportive.

Notre étude montre que les sujets témoins ne présentent pas de différence musculaire entre les deux bras probablement expliquée par leur activité sédentaire sur le plan professionnelle ou sportive.

Il n'y a pas de latéralité en terme de force de rotation d'épaule. Les ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes restent équilibrés entre les deux bras (dominant et non dominant).

Sur le plan de la balance musculaire entre les rotateurs externes et les rotateurs internes la force des agonistes-antagonistes est équivalente de façon bilatérale en terme de ratios.

Le travail calculé seulement sur 50 répétitions à 300 degrés par seconde montre des rotateurs internes du bras dominant significativement plus important avec une fatigue prématurée du bras considéré comme non dominant.

La dominance du bras chez les témoins ne se retrouve donc que lors du calcul du travail en endurance par une conservation des mesures de force sur les 50 répétitions (moindre perte de force due à la fatigue musculaire).

Le bras est donc « dominant » chez les témoins pour les rotateurs internes lors du travail en endurance. Il n'existe pas de dominance de bras pour la force des deux groupes musculaires réalisé à vitesse lente 60 et 120 degrés par seconde et sur un nombre restreint de répétitions.

Le problème soulevé de cette différence est peut-être la relative aisance à réaliser un mouvement de rotation interne par rapport à la rotation externe alors que le sujet est fatigué par les 50 répétitions. Cette fatigue musculaire engendre une difficulté croissante à réaliser la rotation externe par rapport à la rotation interne et

donc des résultats sur le travail significativement moins important.

En effet de façon clinique, les témoins lors des tests avaient des difficultés à terminer l'exercice à 300 degrés par seconde notamment en ce qui concerne le travail des rotateurs externes.

Ceci s'explique par un manque d'entraînement chez des sujets sédentaires non sportifs alors qu'on leur demandait un exercice épuisant musculairement. De plus il est difficile avec la fatigue croissante de remonter le bras du levier du dynamomètre contre la pesanteur (travail des rotateurs externes) contrairement au travail des rotateurs internes qui abaissent le bras du levier avec la pesanteur. Ceci pose le problème de l'évaluation isocinétique qui ne compense pas la gravité. Tout ceci a accentué le fait que de façon physiologique la force des rotateurs externes est plus faible que celle des rotateurs internes.

4.4.2-sujets sportifs

Les sportifs professionnels pratiquant la voile montrent une relative dominance lors des mesures de force des rotateurs internes significativement plus important du côté du bras dominant aux vitesses les plus élevées (120 et 300 degrés par seconde) même rapporté au poids. A l'inverse il n'existe pas de dominance sur le plan de la force des rotateurs externes.

La réalisation sportive intensive d'un geste unilatéral avec le bras dominant comme celui effectué sur le winch à vitesse rapide et en endurance pourrait entraîner une augmentation de la force musculaire des rotateurs internes surtout révélatrice aux vitesses élevées où l'endurance et la fatigue musculaire jouent un rôle.

La relative dominance du bras est expliquée sur les rotateurs internes seulement. Ces derniers permettent de maintenir un travail plus important lors des 50 répétitions que celui fourni par les rotateurs internes du bras non dominant.

On constate des corrélations entre le travail et la force des deux rotateurs du bras dominant ; et une absence de lien sur le bras non dominant pour les rotateurs externes. Ceci est peut-être expliqué par une insuffisance des rotateurs externes.

L'entraînement intensif concerne surtout les rotateurs internes par rapport aux rotateurs externes et plus encore en endurance.

Les sportifs démontrent une relative insuffisance d'entraînement des rotateurs externes du bras non dominant. Ceci est probablement expliqué par la difficulté plus grande de réalisation du geste de rotation externe accentué par la répétition des gestes unilatéraux lors de la pratique de la voile sur le winch.

Cependant l'équilibre musculaire agoniste-antagoniste est respecté de façon bilatérale. Les rotateurs externes freinent de façon équilibrée leurs rotateurs internes spécifiques sans dominance relative.

L'intérêt chez ces sportifs, pour éviter une dysbalance musculaire trop importante à risque de blessure, serait d'accentuer l'entraînement de façon équilibrée à la fois des groupes musculaires des rotateurs externes et internes.

L'objectif d'un entraînement bien conduit doit être d'obtenir la meilleure force des agonistes ainsi que la meilleure résistance à l'étirement des muscles antagonistes afin qu'ils supportent le mieux possible les contraintes imposées par le geste sportif.

Le dynamomètre peut permettre sur plusieurs sessions d'organiser des séances de renforcement musculaire des rotateurs afin d'améliorer les performances (mesures quantifiées et reproductibles) au cours des sessions et ainsi d'éviter les blessures.

4.4.3-comparaison des sujets sportifs et témoins

Lorsque l'on compare les deux populations sur le plan de la force et du travail musculaire on constate que les sportifs présentent des muscles rotateurs externes et internes plus forts à toutes les vitesses et ce sur les deux bras, même rapporté au poids. Ceci est expliqué par l'entraînement musculaire plus intensif de façon global.

Les ratios ne montrent pas de différence significative entre les deux populations, car il existe une dysbalance musculaire physiologique entre des rotateurs internes puissants et une faiblesse relative des rotateurs externes chez les sportifs. D'une façon générale, les rotateurs internes (sub scapularis) qui jouent un rôle dans la phase d'accélération du mouvement sont plus forts que les rotateurs externes qui eux agissent sur la fonction de décélération.

Avec des ratios compris entre 0,48 et 0,55 pour le bras dominant dans les deux populations et entre 0,51 à 0,63 pour le bras non dominant, on constate une prédominance des rotateurs internes sur les rotateurs externes aux trois vitesses.

L'équilibre entre les rotateurs internes et externes avec prédominance des rotateurs internes est un élément important dans le centrage actif de la tête humérale (les rotateurs internes étant nécessaire à la stabilité antéro-postérieure de la tête humérale).

Cette étude montre que la pratique sportive de la voile ne modifie pas les ratios de façon significative.

Alors que l'on observe dans de nombreux sports avec l'entraînement tels que le base-ball [11], une augmentation de la force de rotateurs internes au « détriment » des rotateurs externes. Ce déséquilibre musculaire augmente les performances physiques du membre supérieur mais aussi le risque de blessure ; d'où la nécessité d'ajuster l'entraînement pour ne pas surdoser l'effort physique.

L'étude de Wang et al. en 2000 montre un déséquilibre entre les rotateurs internes et les rotateurs externes sur le bras dominant chez des joueurs de volley-ball (6 sur les 10 sujets ont décrit une douleur diffuse de l'épaule localisée sur le bras dominant avec des résultats plus faible des rotateurs internes du bras dominant). Les ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes du coté dominant varient de 0,67 à 0,84 en concentrique et excentrique à 60 et 120 degrés par seconde contre 0,92 à 0,98 pour le bras non dominant. Les rotateurs internes sont impliquées de façon importante dans l'armer et dans le lancer. [45]

Brunon et al., sur l'évolution de la balance musculaire des rotateurs de l'épaule, montre une augmentation du ratio en fonction de la vitesse chez les joueurs de base-ball qui sollicite particulièrement les rotateurs internes (ratios aux environ de 2) et une différence significative entre les deux cotés testés au profit du coté dominant (ratios de 1,69 à 1.81 pour le bras dominant contre 1,41 à 1,54 pour le bras non dominant). [7]

Ellenbecker et al. en 1997 démontrent eux aussi l'existence d'un bras dominant sur le travail et la force par les rotateurs internes aux vitesses les plus élevées chez les joueurs de base-ball (de 52 à 106 Newton-mètres pour le bras dominant contre 47 à 98 Newton-mètres pour le bras non dominant) [19].

De même chez Hinton et al. en 1988 sur les joueurs de base-ball, les ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes montrent une différence significative en faveur du bras dominant chez les lanceurs au base-ball. [23]

Quand à Codine et al. en 1997, ils montrent, sur les joueurs de base-ball, des ratios en faveur du bras dominant aux trois vitesses. [11]

Ellenbecker et al. en 1999 chez les joueurs de tennis trouvent des ratios de 82 à 83 % pour les rotateurs internes contre 69 à 71 % pour les rotateurs externes. [19]

Contrairement donc à d'autres activités sportives sus-citées la pratique de la voile ne modifie pas les ratios par rapport à des sujets sédentaires.

En conclusion, en comparant les sportifs professionnels pratiquant la voile au niveau international avec des sujets témoins sédentaires, on constate que cette activité sportive augmente les performances musculaires des rotateurs externes et internes aussi bien sur le plan de la force que sur celui du travail en endurance mais ne modifie pas les ratios.

Aucune étude n'avait montré que la pratique de la voile permettait d'augmenter la force musculaire des rotateurs permettant ainsi de préserver un bon équilibre musculaire agoniste-antagoniste.

4.4.4-comparaison des sportifs entre eux

Les sportifs qui arrivent à fournir l'effort musculaire le plus important avec les muscles de la coiffe des rotateurs sont ceux qui sont à l'avant et sur la grande voile. Ces postes correspondent à une demande physique spécifique par le mouvement de rotation sur le winch. Par extrapolation, on peut accréditer le fait que les sportifs qui ont les résultats sur la force et le travail des rotateurs les plus forts sont à placer préférentiellement aux postes de force (utilisation du winch).

Les résultats les plus faibles obtenus ont été chez les tacticiens en ce qui concerne les mesures de force des rotateurs externes et internes ainsi que sur les résultats du travail lors du test de fatigue par comparaison aux autres membres de l'équipage. Ceci correspond effectivement à une moindre utilisation des bras en rotation sur les travaux de force (winch ou colonne) sur le voilier. Cependant, ces sportifs restent plus forts que les témoins appariés sédentaires.

La pratique du winch permet par rapport à d'autres postes sur le bateau d'augmenter les performances musculaires des rotateurs externes et internes. Cette pratique sportive développe les capacités de force et de résistance à la fatigue.

Mais il faut prendre garde à la relative dominance des rotateurs internes par rapport au bras controlatéral

ainsi que l'insuffisance des rotateurs externes du bras non dominant. Ceci est à risque de blessure à type d'instabilité de l'épaule ou de lésion de la coiffe des rotateurs.

Un entraîneur sportif qui souhaiterait sélectionner une équipe pluridisciplinaire peut se servir de ce test sur la coiffe des rotateurs. En fonction des résultats aux tests, il est possible de déterminer quel poste sur le voilier serait le plus adapté au profil du sportif. Le profil musculaire des sportifs obtenus grâce aux tests pourrait représenter un des critères de choix objectif en plus des autres qualités nécessaires à la pratique de la voile.

Shephard en 1990 dans son étude sur la biologie et la médecine de la voile constate que les critères d'un bon équipage sont la force musculaire, l'endurance et la tolérance à l'anaérobie. Le skipper lui étant plutôt axé sur un effort cérébral intense et prolongé. Mais tous les membres doivent tolérer et accepter les risques d'immersion en eau froide, le manque de sommeil, les variations de performance au cours de la journée ou encore les problèmes de blessure. [37]

De plus dans cette même étude Shephard montre l'augmentation des capacités anaérobiques chez les meilleurs sportifs pratiquant la voile au plan international par rapport aux marins moyens (endurance anaérobie 109,5 secondes à 9,6km/h contre 65,1 secondes).

L'exploration isocinétique pratiquée sur le dynamomètre fait intervenir des qualités anaérobies alactique sur les vitesses de 60 et 120 degrés par seconde (cinq répétitions) et lactique à la vitesse de 300 degrés par seconde (avec 50 répétitions). [37]

Legg et al. En 1997 ont montré des performances en aérobie supérieures chez les marins des petits bateaux (Mistral, Laser, Finn) que celles obtenues par les membres d'équipages de bateaux plus gros type 470. [28]

Les critères de choix et d'évaluation des membres de l'équipage d'un bateau sont définis en fonction des postes à pourvoir et de la taille du bateau. On n'exigera pas les mêmes compétences pour un skipper que pour un grand-voile. L'intérêt est donc d'avoir des tests simples et reproductibles à sa disposition pour permettre de constituer la meilleure équipe possible. Cette étude peut constituer une base de donnée pour un entraîneur sportif.

-

CONCLUSION

L'étude en isocinétisme des muscles rotateurs externes et internes dans le plan scapulaire chez des sportifs professionnels pratiquant la voile et chez des témoins sédentaires établit une base de donnée quantitative. Ces données permettent de comparer la force entre les différents groupes musculaires, la dominance du bras ou non dans les deux populations. Ceci permet aussi de comparer les sportifs avec les témoins.

Les résultats des sujets sportifs professionnels pratiquant la voile sont supérieurs de façon globale aux résultats des témoins.

Les pics de force des rotateurs externes et internes des sportifs sont significativement plus importants par rapport aux sujets sédentaires quelle que soit la vitesse d'évaluation.

Les ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes ne montrent pas de différence entre l'épaule dominante et non dominante dans les deux populations.

Les résultats du travail sont plus importants chez les sportifs que chez les sujets témoins en ce qui concerne le test de fatigue pour les deux types de rotateurs.

Les pics de force des rotateurs internes des sujets sportifs sont significativement plus importants aux vitesses rapides (120 et 300 degrés par seconde) en faveur du côté dominant. De plus le travail des rotateurs internes du bras dominant à la vitesse angulaire de 300 degrés par seconde est significativement supérieur au côté non dominant dans les deux populations.

Le problème rencontré est celui d'une dysbalance musculaire des rotateurs chez les sportifs avec de puissants rotateurs internes du bras dominant et une insuffisance relative des muscles rotateurs externes pouvant être responsable de blessure.

Chez les sportifs on retrouve de nombreux liens entre les paramètres de force.

On peut aussi comparer à l'intérieur des populations les différents individus. On remarque alors que la force musculaire des rotateurs externes et internes des marins situés aux postes avant et grand-voile est plus importante que celle des tacticiens ainsi que le travail fourni lors du test de fatigue. Ceci peut s'expliquer par un entraînement et une pratique plus exigeante nécessitant spécifiquement les rotateurs de l'épaule.

Cette étude présente un intérêt en médecine sportive pour déterminer le poste sur un bateau le plus adapté au profil musculaire du sportif.

Le deuxième intérêt est de pouvoir réaliser un entraînement spécifique des muscles de l'épaule en utilisant le dynamomètre afin d'obtenir de meilleure performance en évitant les blessures par la dysbalance musculaire.

Pour affiner un peu plus le profil il serait intéressant de réaliser une étude des différents muscles de l'épaule (abducteurs, adducteurs, fléchisseurs, extenseurs, rotateurs externes et internes) en utilisant un appareil de mesure (dynamomètre) équivalent au winch (qui n'existe pas à l'heure actuelle) ou à la colonne en créant un nouvel ergomètre.

BIBLIOGRAPHIE

Allen J B. Sports medicine and sailing. Physical medicine and rehabilitation clinics of north America 1999;10:49-65.

Bartlett L, Storey M, Simons B. Measurement of upper extremity torque production and its relationship to throwing speed in the competitive athlete. The American journal of sports medicine 1989;17:89-91.

Bast S, Vangsness T Jr, Takemura J, Folkins E, Landel R. The effects of concentric versus eccentric isokinetic strength training of the various cuff in the plane of the scapula at various speeds. Hospital for joint diseases 1998;57:139-44.

Bayios A, Anastasopoulou EM, Sioudris DS, Boudolos KD. Relation between isokinetic strength of the internal and external shoulder rotators and ball velocity in team handball. The journal of sports medicine and physical fitness 2001;41:229-35.

Bouisset S. Biomécanique et physiologie du mouvement. Paris : Masson ; 2002.

Bouisset S, Maton B. Muscles, posture et mouvement. Base et applications de la méthode électromyographique. Paris : Hermann ; 1995.

Brunon A, Codine P, Bernard P, Pocholle M, Herisson C. Evolution de la balance musculaire des rotateurs de l'épaule en fonction de l'activité sportive. Progrès en médecine physique et de réadaptation 2^{ème} série. Paris :Masson ;1998.p.43-9.

Cahalan TD, Johnson ME, Chao E. Shoulder strength analysis using the cybex II isokinetic dynamometer. Clinical Orthopaedics and related research 1991;271:249-57.

Calmels P, Charmet Y, Charmet E, Ouillon R. Analyse isocinétique de l'épaule auprès d'une population de 36 enfants âgés de 9 à 14 ans Rôle de la pratique du tennis. Progrès en médecine physique et de réadaptation 2^{ème} série. Paris :Masson ;1998.p.33-42.

Chi-hung R, Siu OT, Chin MK, Chan KM. Bilateral isokinetic variables of the shoulder: a prediction model for young men. Br J Sp Med 1995;29:105-9.

Codine P, Bernard PL, Pocholle M, Benaim C, Brun V. Influence of sports discipline on shoulder rotator cuff balance. Official Journal of the American College of Sports Medicine 1997;29(11):1400-05.

Croisier JL, Crielaard JM. Analyse critique de l'utilisation d'un appareil isocinétique. J. Traumatol. Sport 1995 ;12 :48-52.

Croisier JL, Lhermerout C, Mommer R, Crielaard JM. Déséquilibres musculaires de l'épaule chez le joueur de tennis Une étude isocinétique. Progrès en médecine

physique et de réadaptation 2^{ième} série. Paris :Masson ;1998.p.27-32.

Croisier JL, Crielaard JM. Exploration isocinétique : analyse des courbes. Ann Réadaptation Méd Phys 1999 ;42 :497-502.

Croisier JL, Crielaard JM. Exploration isocinétique : analyse des paramètres chiffrés. Ann Réadaptation Méd Phys 1999 ;42 :532-45.

Croisier JL, Crielaard JM. Isocinétisme et traumatologie sportive. Revue médicale de Liège 2001;56:360-8.

Dauty M, delbrouck C, Huguet D, Rousseau B, Potiron-Josse M, Dubois C. Reproducibility of concentric and eccentric isokinetic strenght of the shoulder rotators in normal subjects 40 to 55 years old. Isokinetics and exercise science 2003 ;11:95-100.

Ellenbecker TS, Mattalino AJ. Concentric isokinetic shoulder internal and external rotation strength in professional baseball pitchers. JOSPT 1997;25:323-8.

Ellenbecker TS, Roetert EP. Testing isokinetic muscular fatigue of shoulder internal and external rotation in elite junior tennis players. Journal of orthopaedic and sports physical therapy 1999;29:275-81.

Greenfield B H, Donatelli R, Wooden MJ, Wilkes J. Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength between the plane of scapula and the frontal plane. The American Journal of Sports Medicine 1990;18:124-8.

Hartsell HD, Forwell L. Postoperative eccentric and concentric isokinetic strength for the shoulder rotators in the scapular and neutral planes. JOSPT 1997;25:19-25.

Hecht Eugene. Physique. Paris: De Boeck Université; 1999.

Hinton RY. Isokinetic evaluation of shoulder rotational strength in high school baseball pitchers. The american journal of sports medecine 1988;16:274-9.

Hughes R, Johnson M, O'driscoll SW, An K.N. Age-related changes in normal isometric shoulder strength. The American journal of sports medicine 1999;27:651-7.

Ivey FM, Calhoun JH, Rusche K, Bierschenk J. Isokinetic testing of shoulder strenght: normal values. Arch Phys med rehabil 1985;66:384-6.

Kuhlman JR, Iannotti JP, Kelly MJ, Riegler FX, Gevaert ML, Ergin TM. Isokinetic and isometric measurement of strength of external rotation and abduction of the shoulder. The journal of bone and joint surgery 1992;74-A:1320-33.

Leger H, Kerbache H, Hellot MF, Beuret-Blanquart F. Evaluation isocinétique des rotateurs de l'épaule chez des sujets sains. Progrès en médecine physique et de réadaptation 2^{ième} série. Paris : Masson ;1998.p.19-26.

Legg SJ, Miller AB, Slyfield D, Smith P, Gilberd C, Wilcox H, Tate C. Physical performance of elite new zealand olympic class sailors. The journal of sports medicine and physical fitness 1997;37:41-9.

Martinez. Cahiers d'anatomie vivante 3 l'épaule. Paris : Masson ; 1983.p.23-41.

Mayer F, Horstmann T, Kranenberg U, Röcker K, Dickhuth H-H. Reproducibility of isokinetic peak torque and angle at peak torque in the shoulder joint. Int J Sports Med 1994;15(suppl1):26-31.

Mayer F, Horstmann T, Röcker K, Heitkamp H-C, Dickhuth H-H. Normal values of isokinetic maximum strenght, the strenght/velocity curve, and the angle at peak torque of all degrees of freedom in the shoulder. Int J sports Med 1995;15(suppl1):19-25.

Meeteren JV, Roebroek ME, Stam HJ. Test-retest reliability in isokinetic muscle strength measurements of the shoulder. J Rehabil Med 2002;34:91-95.

Middleton P, Trouve P, Puig P, Savalli L. Intérêt de l'évaluation musculaire isocinétique excentrique dans la pathologie de l'épaule du sportif. Progrès en médecine physique et de réadaptation 2^{ième} série. Paris :Masson ;1998.p.49-53.

Mont MA, Cohen DB, Campbell KR, Gravare K, Mathur SK. Isokinetic concentric versus eccentric training of shoulder rotators with functional evaluation of performance enhancement in elite tennis players. The American journal of sports medicine 1994;22(4):513-7.

Pocholle M, Codine P. Isocinétisme et médecine sportive. Paris :Masson ;1998.p.1-73.

Rochcongar P, Beillot J, Dassonville J, Carre F. Exploration isocinétique des rotateurs de l'épaule en fonction de la spécialité sportive. Dans : Bonnel F, Blotman F, Mansat M, eds. L'épaule, l'épaule dégénérative, l'épaule traumatique, l'épaule du sportif. Paris : Springer-Verlag France ;1993. p.353-7.

Shephard RJ. The biology and medicine of sailing. Sports medicine 9 1990;2:86-99.

Shklar A, Dvir Z. Isokinetic strength relationships in shoulder muscles. Clinical Biomechanics 1995;10(7):369-73.

Sporrong H, Styf J. Effects of isokinetic muscle activity on pressure in the supraspinatus muscle and shoulder torque. The journal of bone and joint surgery 1999;17:546-53.

Thompson. Initiation à l'anatomie du mouvement. Paris : Vigot ; 1993.p.17-31.

Timm KE. The isokinetic torque curve of shoulder instability in high school baseball pitchers. JOSPT 1997;26:150-4.

Tis LL, Maxwell T. The effect of positioning on shoulder isokinetic measures in females. Medicine and science in sports and exercise 1996;28:1188-92.

Voisin PH, Weissland T, Maillet M, Schumacker P, Delahaye H, Vanvelcenaher J. revue critique de l'évaluation isocinétique de l'épaule Méthodologies et résultats chez le sujet sain. Progres en médecine physique et de réadaptation 2^{ième} série. Paris :Masson ;1998.p.2-18.

Walker SW, Couch WH, Boester GA, Sprowl DW. Isokinetic strength of the shoulder after repair of a torn rotator cuff. The journal of bone and joint surgery 1987;69:1041-4.

Wang HK, Macfarlane A, Cochrane T. Isokinetic performance and shoulder mobility in elite volleyball athletes from the united kingdom. Br J Sports Med 2000;34:39-43.

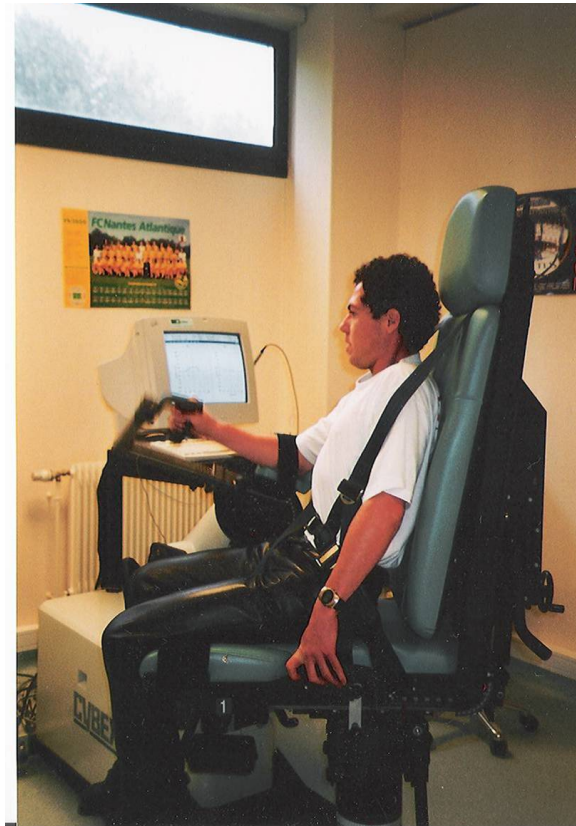
Weineck J. Anatomie fonctionnelle du sportif. Paris :Masson ;1985.

Wilk KE, Andrews JR, Arrigo CA, Keirns MA, Erber DJ. The strength characteristics of internal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. The american journal of sports medicine 1993;21:61-6.

ANNEXE

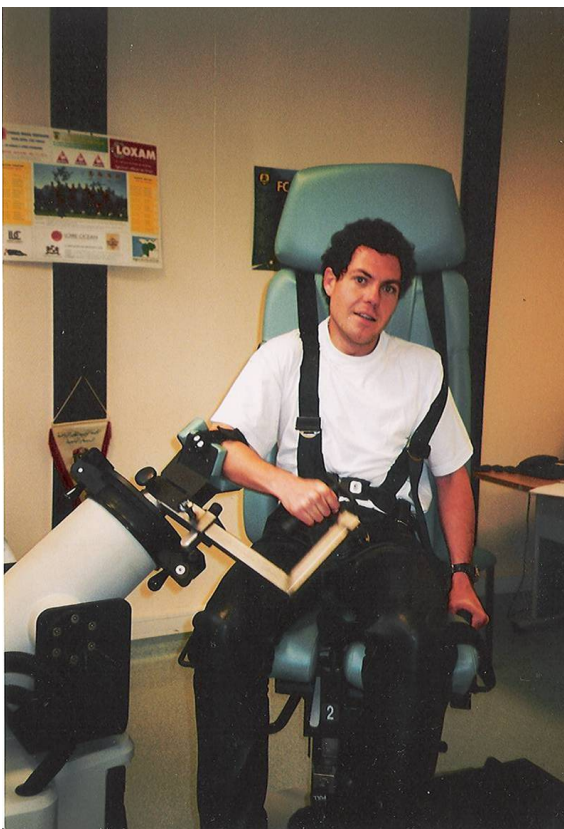
Photographie 1

Position du sujet sur le dynamomètre
En action de rotation externe

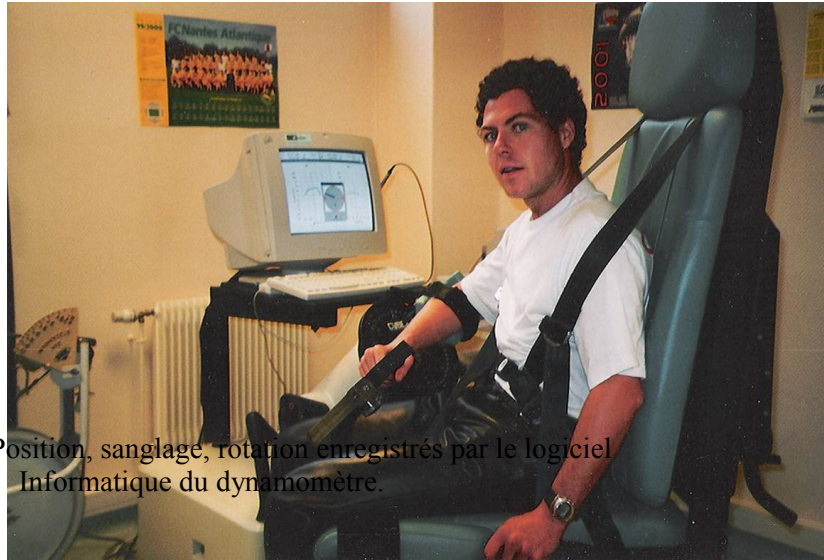


Photographie 2

Amplitude de rotation gérée par des
butées électroniques



Photographie 3



Position, sanglage, rotation enregistrés par le logiciel Informatique du dynamomètre.

-
Vu, le Président du Jury,

Vu, le Directeur de Thèse,

Vu, le Doyen de la Faculté,

NOM : NOCET

PRENOM : SOPHIE

TITRE

EXPLORATION ISOCINETIQUE DES ROTATEURS DE L'EPAULE CHEZ DES SPORTIFS PRATIQUANT LA VOILE

Intérêt en pratique de médecine sportive

RESUME

Une étude cas-témoin a été réalisée dans le service de médecine sportive de l'hôpital Saint-Jacques afin d'évaluer la force musculaire des rotateurs externes et internes de l'épaule, dans le plan scapulaire, chez une population de 12 sportifs de haut niveau pratiquant la voile comparée à 12 sujets témoins sédentaires.

L'exploration isocinétique des muscles rotateurs a été réalisée sur un CYBEX Norm à la vitesse angulaire de 60, 120 et 300 degrés par seconde.

La population des sportifs professionnels qui était âgée entre 24 et 42 ans ($33,25 \pm 5,02$) a montré des résultats significativement supérieurs sur les pics de force des rotateurs externes et internes par rapport aux sujets sédentaires âgés de 27 à 46 ans ($33,16 \pm 6,5$). Ces résultats étaient retrouvés quelle que soit la vitesse et l'épaule évaluée.

La comparaison des ratios des rotateurs externes sur les rotateurs internes n'a pas montré de différence significative dans les deux populations.

Lors du test de fatigue à 300 degrés par seconde, les sujets sportifs développent un travail plus important en ce qui concerne les rotateurs externes et internes aux deux épaules par rapport aux sujets témoins.

Une différence significative entre le bras dominant et non dominant a été retrouvée seulement pour la force des rotateurs internes chez les sportifs lors de l'évaluation réalisée à la vitesse angulaire de 120 et 300 degrés par seconde.

Chez les sportifs il a été trouvé de nombreux liens entre les différents paramètres de force. Liens qui n'ont pas été retrouvés chez les témoins.

La pratique de la voile au niveau international entraîne une amélioration des performances musculaires et de la résistance à la fatigue des rotateurs internes du bras dominant. Ceci présente un intérêt en médecine du sport pour déterminer le profil musculaire des marins aux différents postes du bateau avec des résultats supérieurs chez les utilisateurs du winch ou de la colonne par rapport aux skippers.

MOTS-CLEFS

Isocinétisme force
Rotation interne- rotation externe

voile
épaule