

**Zeitschrift:** Physiotherapie = Fisioterapia  
**Herausgeber:** Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband  
**Band:** 35 (1999)  
**Heft:** 12

**Artikel:** Influence de la balance musculaire sur la survenue d'accidents tendino-musculaires : apport de l'isocinétisme  
**Autor:** Pocholle, Michel  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-929416>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 08.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Influence de la balance musculaire sur la survenue d'accidents tendino-musculaires

## Apport de l'isocinétisme

Michel Pocholle: C.S.K, Chef de Service, Clinique Fontfroide F-34000 Montpellier

**L**a notion de balance musculaire est ancienne et bien connue des biomécaniciens. L'équilibre musculaire établi autour d'une articulation met en opposition et en synergie muscles agonistes et muscles antagonistes, garantissant le bon fonctionnement de cette articulation. Ce rapport de forces agonistes et antagonistes est la définition de la balance musculaire. On comprend facilement que cette balance peut se dérégler en faveur de tel ou autre groupe musculaire après un traumatisme, une affection et ce déséquilibre lui-même pérenniser certaines pathologies. La difficulté est de pouvoir chiffrer exactement le rapport des forces en présence. L'isocinétisme permet l'évaluation exacte et reproductible de la force des muscles d'une articulation et le calcul de la balance musculaire agonistes/antagonistes.

Des études validées portant sur des sujets sains ont permis de déterminer les valeurs dites normales. Ainsi pour un patient donné on pourra comparer les valeurs obtenues d'un côté à celles du côté contro-latéral et aux valeurs de référence et mettre en exergue un déficit sur un groupe musculaire précis.

Les reproches faits à l'évaluation isocinétique sont de dire qu'il s'agit d'un test effectué dans un seul plan de l'espace, alors que tous les muscles de l'organisme présentent des composantes tri-dimensionnelles et à vitesse constante, ce qui n'est pas retrouvé en physiologie musculaire «in vivo». Cet état de fait est bien intégré, l'évaluation uni-dimensionnelle donne des renseignements certes parcellaires, mais fiables et indicateurs de certains désordres mécaniques pouvant aboutir ou être le reflet de certaines pathologies. Malgré ces limites l'isocinétisme permet très souvent de corréler une pathologie tendino-mus-

culaire à une perturbation de la balance musculaire, que cette balance soit calculée en concentrique/concentrique ou concentrique/excentrique pour un même groupe musculaire, ou concentrique-agoniste/excentrique-antagoniste.

Après avoir évalué la balance musculaire, l'outil isocinétique permet, à l'aide d'un programme approprié, de rééquilibrer cette balance et d'évaluer régulièrement les effets de l'entraînement. Une évaluation régulière sera effectuée, permettant de suivre l'évolution et le bien fondé des techniques employées.

Le champ des indications de l'isocinétisme dans les pathologies musculo-tendineuses est aujourd'hui important. Après un accident aigu et sa cicatrisation, l'isocinétisme permettra le rééquilibrage d'une balance musculaire perturbée par l'amyotrophie post-traumatique évitant ainsi la récurrence. En pratique sportive l'isocinétisme est inclus dans les programmes de

renforcement, mais est aussi utilisé dans l'évaluation des capacités musculaires en début de saison et dans le suivi et l'adaptation des programmes d'entraînement, permettant parfois de corriger des déséquilibres musculaires induits par un entraînement inadapté et qui peuvent être source d'accidents tendino-musculaires et ligamentaires (1).

Plusieurs études rapportent le rôle du déséquilibre du rapport agoniste-antagoniste dans la genèse d'une affection (2), ou dans l'importance des séquelles post-traumatiques ou post-chirurgicales du genou (3, 4) ou de la cheville. Les études biomécaniques soulignent le rôle essentiel du couple agoniste-antagoniste (5) de la participation d'une contraction musculaire alternée et simultanément concentrique et excentrique de l'un et l'autre des agonistes/antagonistes dans la physiologie du mouvement, mais elles rapportent rarement l'importance du rapport de force du muscle agoniste sur celle de l'antagoniste. L'évaluation isocinétique de la force musculaire a permis cette analyse. De nombreuses études ont ainsi été réalisées pour déterminer ce ratio agoniste/antagoniste d'une articulation et son évolution physiologique et en pathologie (2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10).

## Ethiopathogenie des accidents tendino-musculaires

### Théorie de la sur-sollicitation

C'est l'hypersollicitation du complexe musculo-tendineux qui est responsable de la lésion qui touche l'insertion ou le corps du tendon. Il s'agit d'une pathologie microtraumatique de surcharge. De nombreux arguments sont en faveur du rôle du travail musculaire excentrique dans la survenue des lésions tendineuses (11).

Il existe une similitude entre le D.O.M.S. (Delayed Onset Muscular Soreness) et la tendinite de stade I selon la classification de Blazina. Dans les deux cas, les douleurs surviennent dans les heures qui suivent l'arrêt de l'activité sportive. Le D.O.M.S, ou douleur musculaire d'apparition retardée a été décrit dans les suites d'un travail musculaire excentrique prolongé. Le D.O.M.S a une origine mécanique et métabolique (12). La lésion se produit dans un premier temps au niveau de la fibre musculaire à la jonction musculo-tendineuse pour s'étendre dans un deuxième temps au tissu conjonctif de soutien et au ventre musculaire. Il existe une différence notable lors de l'évaluation isocinétique entre l'aspect des courbes obtenu lors du travail concentrique et celui obtenu lors d'un travail excentrique.

Lors du travail concentrique, la force augmente progressivement pour atteindre son maximum au milieu du mouvement et décroître par la suite.

Lors du travail excentrique, la force augmente avec l'étirement du complexe musculo-tendineux pour atteindre son maximum près de la position extrême.

Bien que les choses soient plus complexes et non élucidées, nous pouvons presque opposer le travail musculaire concentrique et le travail musculaire excentrique.

Au cours du travail concentrique, la force est produite par le tissu contractile. Le tissu conjonctif sert à transmettre la force développée au segment de membre sous-jacent. La force dépend du nombre de ponts actomyosiniques mis en jeu, donc de la longueur du sarcomère. La contraction musculaire nécessite l'utilisation d'ATP et la consommation de substrat pour reformer le stock de phosphagènes d'où l'augmentation de la vascularisation locale.

Lors du travail excentrique, il y a contraction musculaire. Celle-ci a pour intérêt de mettre en tension le tissu conjonctif de soutien. La force augmente avec le degré d'étirement du complexe musculo-tendineux. Elle dépend principalement de la tension développée par le tissu non contractile. Il n'y a pas ou peu de consommation d'ATP. Il n'y a pas d'augmentation de la vascularisation locale. Nous sommes dans les conditions idéales de lésions potentielles d'origine mécanique par «hyper-étirement» et métabolique par hypoxie tissulaire (13).

L'étude des gestes sportifs montrent que les lésions tendineuses concernent les groupes musculaires sollicités de manière excentrique lors de la pratique sportive. C'est évident pour l'apophyse plantaire, qui est toujours sollicitée en étirement lors de la marche et de la course (14). Reber a montré, chez le coureur à pied, que l'activité électrique du triceps est maximale lors du pas postérieur, c'est à dire lorsque le triceps travaille de manière excentrique (15).

Giangarra n'a pas mis en évidence de différence d'activité électromyographique au niveau des épicondyliens lors du revers de tennis chez les joueurs jouant à une main et ceux jouant à deux mains (16). Or, l'épicondylite se rencontre exclusivement chez les joueurs qui effectuent leurs revers à une main. L'activité électrique est certes la même dans les deux populations, mais si le revers à deux mains sollicite les épicondyliens en raccourcissement, le revers à une main les sollicite en étirement et ce, d'autant plus que le joueur utilise le lift.

Les tendinites rotuliennes se rencontrent avec une fréquence extrême dans les sports de saut. Ces activités sportives sollicitent, au moment de l'impulsion et/ou de la réception, le quadriceps comme frénateur de la flexion de genou. Le quadriceps travaille, plus que dans la plupart des autres sports, de manière excentrique. La physio-

pathologie de la coiffe des rotateurs est aujourd'hui très discutée. La théorie de Neer est remise en cause. Le conflit sous-acromial serait secondaire à la lésion et non la cause.

Jobe met en avant le rôle de la laxité de l'épaule dans l'explication de cette pathologie. Pour Walch, il existe, parfois, un conflit dans la phase de l'armé entre la face profonde du sus-épineux et la partie postéro-supérieure du rebord glénoïdien. Il faut, cependant, constater que les muscles effecteurs du mouvement qui travaillent de manière concentrique lors du lancer, du smash, du crawl et du papillon, sont les abaisseurs d'épaule, les rotateurs internes et le triceps. Le sus-épineux, le sous-épineux et la longue portion du biceps sont les muscles antagonistes du mouvement. Ils sont sollicités comme frénateurs du mouvement. Ils travaillent de manière excentrique.

La prise en charge thérapeutique d'une lésion tendineuse doit tenir compte du stade lésionnel, évalué par la classification de BLAZINA, de la physiopathologie de la lésion et des facteurs favorisants associés. Parmi les techniques proposées, le travail musculaire excentrique doit avoir sa place non seulement dans le cadre du traitement, mais également à visée préventive (17). L'utilisation d'un dynamomètre isocinétique permet d'évaluer la résistance à l'étirement du complexe musculo-tendineux et de contrôler le travail excentrique réalisé lors du protocole de rééducation. En effet, le travail excentrique, surtout s'il est réalisé en maximal et à vitesse rapide, est responsable de lésions musculaires, source de douleurs, de raideur et de déficit musculaire. Le contrôle de la vitesse et de la résistance développée par le patient grâce à l'utilisation du dynamomètre isocinétique est un gage de sécurité.

### Classification de blazina

Cette classification se caractérise par quatre stades fonctionnels successifs:

Stade I: Douleur survenant après l'effort sans répercussion sur l'activité sportive.

Stade II: Douleur en début d'activité, disparaissant après l'échauffement et réapparaissant après l'exercice.

Stade III: Douleur pendant et après l'activité avec altération progressive des performances sportives.

Stade IV: Rupture tendineuse. Impotence fonctionnelle majeure.

Les stades I et II sont de bons pronostics alors que les chances de réussite au traitement médical sont plus faibles au stade III.

L'intervention chirurgicale est proposée dans les stades IV et chez les sportifs motivés en cas

d'échec du traitement conservateur dans le stade III.

### Théorie trophique

Le vieillissement tendineux comporte deux phases: une phase inflammatoire liée aux micro-traumatismes sportifs répétés, puis secondairement un processus de dégradation biologique lié aux difficultés de cicatrisation et de réparation du tissu conjonctif. Ingel a montré qu'au cours du vieillissement il existait une atrophie musculaire sélective portant de façon préférentielle sur les fibres II, avec un déficit de force musculaire à vitesse rapide. Friden (12) a mis en évidence qu'on pouvait pallier partiellement ces inconvénients grâce au travail excentrique.

### Théorie de la perturbation de la balance musculaire

Lors de tout mouvement articulaire la composante excentrique de la contraction musculaire est essentielle. En effet c'est elle qui constitue le frein actif de l'articulation lors de la décélération (mouvement en chaîne ouverte) mais aussi pour les articulations des membres portants le moteur principal du mouvement (chaîne fermée). Pour le genou l'extension active est aussi assurée par la contraction concentrique du quadriceps et excentrique des ischio-jambiers et du triceps sural (paradoxe de Lombard).

Les déséquilibres entre muscles d'actions antagonistes apparaissent très fréquents chez le sportif (18, 19, 20, 21). En effet, la répétition d'un geste stéréotypé et la spécificité de l'entraînement occasionnent des adaptations musculaires affectant préférentiellement les muscles «moteurs» ou «propulseurs» (c'est-à-dire les muscles agonistes). Parallèlement, la pratique sportive s'accompagne de lésions musculaires, préoccupantes par leur caractère récidivant (22, 23). Ainsi, la fréquence lésionnelle des ischio-jambiers apparaît élevée chez les sprinters (50% des blessures musculaires (24), les sauteurs en athlétisme et les footballeurs (40% des blessures (25). Les circonstances d'apparition correspondent à des efforts intenses (shoot, sprint, impulsion, ...) au cours desquels les sollicitations dépassent les limites mécaniques et physiologiques tolérées par le muscle. L'intérêt de l'isocinétisme est de mettre en évidence des déséquilibres musculaires agonistes/antagonistes qui participent à la constitution ou à la pérennisation de ces accidents musculaires.

Les accidents musculaires surviennent fréquemment au cours de la pratique sportive, particulièrement (90%) au niveau des membres inférieurs (26). La fréquence lésionnelle des ischio-jambiers justifie le choix de ce groupe musculaire pour cette étude. Ces muscles appa-

raissent particulièrement sollicités lors de certaines disciplines sportives (football, sprint en athlétisme et sports de combat) où la contraction excentrique des fléchisseurs du genou doit s'opposer au quadriceps et à l'inertie qui amènent le segment jambier vers l'avant (27, 28). L'évaluation isocinétique, appliquée aux séquelles de lésions musculaires, proposait, dans un premier temps, des exercices en mode exclusivement concentrique. L'effort excentrique, en autorisant le développement de tensions musculaires plus élevées (29), occasionne fréquemment des douleurs intenses différées (30). Il peut également majorer le risque potentiel de lésions au cours de l'épreuve (31).

Un muscle et son tendon travaillent successivement en phase concentrique et en excentrique. Tout déséquilibre musculaire agoniste/antagoniste en concentrique/excentrique peut être à l'origine d'un dysfonctionnement articulaire et de blessures tendineuses (32, 33, 34). L'importance du rôle de la charge excentrique dans la survenue et le traitement des tendinopathies a bien été mis en évidence (35). Le travail excentrique permettant une augmentation de la tension pendant l'allongement de l'unité tendino-musculaire, permet de mieux résister aux contraintes excentriques au niveau des tendons lors de la réception des sauts ou lors de la préparation du shoot... (36, 37, 38). Si le tendon n'est pas suffisamment préparé, ces contraintes peuvent aboutir à des cisaillements, des tractions et des blessures tendineuses à l'origine du dysfonctionnement articulaire (39, 40, 41, 42, 43). Deux paramètres sont importants, en ce qui concerne le travail excentrique, il s'agit:

- Du rôle de l'élasticité tendineuse qui permet d'obtenir un état de pré-tension nécessaire au développement d'une force maximale lors de la contraction. Un déficit d'élasticité tendineuse se traduira par une carence de cette pré-tension avec pour conséquence la survenue possible de lésions tendineuses, particulièrement lors de l'inversion du mode de contraction de l'excentrique vers le concentrique.
- De la force critique, établie par Bennett et Stauber (45) qui est un paramètre prédictif important de douleur à la face antérieure du genou ou de dysfonctionnement du tendon rotulien. En ce qui concerne le quadriceps, cette force critique, représentée par le rapport force Q excentrique/force Q concentrique, est égale à 85%.

Fyfe et Stanish (17) ont fait la description d'un protocole basé sur les étirements tendineux et la mise en tension excentrique de plus en plus intense du tendon, tant dans la position angulaire, la contrainte, que dans le temps de réalisation de l'exercice

Cet entraînement aboutit à une augmentation de la tolérance du tendon aux résistances et aux charges appliquées lors de tensions de plus en plus importantes (33).

### **Rôle du déséquilibre de la balance musculaire sur la survenue des accidents, intérêt de l'isocinétisme**

Le rôle de l'équilibre musculaire déterminé par le rapport agoniste/antagoniste d'une articulation soit dans la survenue de lésions, soit dans les suites de rééducation a été analysés par différents auteurs. En 1984, lors d'une étude sur 172 joueurs de football, Grace (46) ne met pas en évidence de relation entre la survenue d'une lésion et l'existence d'un déséquilibre musculaire analysé par les valeurs du rapport ischio-jambiers/quadriceps à différentes vitesses angulaires. Il en conclut que la mesure d'un déséquilibre musculaire ne constitue pas un facteur primordial de risque de survenue de lésions.

Plus récemment, Worrel (4) en analysant la force isocinétique et l'extensibilité des ischio-jambiers auprès d'une population d'athlètes présentant des lésions de ces muscles montre qu'il n'y a pas de différence du rapport ischio-jambiers/quadriceps à 60°/s ou 180°/s par rapport à une population témoin. Il met uniquement en cause le manque d'extensibilité. Inversement Jönghagen (47) met en évidence des différences chez les sujets présentant des lésions des ischio-jambiers avec une baisse spécifique de leur force en mode excentrique et concentrique à basse vitesse, ce qu'il ne retrouve pas sur le quadriceps.

Sur un groupe de 20 femmes de 15 à 36 ans, dont 12 sujets témoins et 8 sujets présentant un syndrome fémoro-patellaire, Mac Intyre (2) ne met pas en évidence de modification significative du rapport ischio-jambiers/quadriceps, que ce soit en concentrique ou en excentrique. Par contre la différence de la valeur maximale du couple de force entre contraction excentrique et concentrique ne serait pas du même ordre pour le quadriceps que pour les ischio-jambiers. Le couple de force musculaire excentrique des ischio-jambiers augmenterait moins par rapport au concentrique qu'il ne le fait pour le quadriceps.

Plus récemment, Middleton (48) et Croisier (49) proposent une analyse différente du rapport agoniste/antagoniste au niveau du genou en définissant ce rapport entre les fléchisseurs excentriques et les extenseurs concentriques et ce dernier auteur met en évidence une relation entre ce rapport et les lésions des muscles ischio-jambiers. Au niveau de l'épaule, Scoville (50) rapporte également l'intérêt d'une évaluation du ratio antagoniste excentrique sur agoniste concentrique pour les rotateurs de l'épaule, mais ne préci-

se pas l'intérêt pratique sur le suivi d'une population.

Dans le conflit sous acromial quatre études se sont intéressées au ratio RI/RE (19, 51, 52, 53). Leurs résultats sont contradictoires. Rupp (19), chez des nageurs de compétition, ne retrouve pas de différences de ratio RI/RE entre les sujets indemnes de toute pathologie d'épaule et ceux ayant des douleurs de conflit et un signe clinique de ce conflit (signe de Hawkins positif). Warner (51) a noté une augmentation du ratio RI/RE tendant vers 2, alors que Codine (53) a noté au contraire une diminution du ratio tendant vers 1. De même Bak (52) retrouve, chez des nageurs compétiteurs atteints d'un conflit sous acromial, un ratio RI/RE diminué de manière significative du côté atteint par rapport au côté sain et à un groupe contrôle indemne de toute pathologie. Cette dernière étude viendrait confirmer les conclusions de Codine et montrer que le déséquilibre de la balance musculaire, en cas de conflit sous acromial, s'observe par diminution préférentielle de la force des rotateurs internes, se rapprochant du déséquilibre observé en cas d'instabilité antéro-postérieure. Les différences observées dans ces trois études peuvent s'expliquer par les positions de test différentes, les caractéristiques des populations, les sujets de Rupp, Warner et Bak sont jeunes et sportifs, ceux de Codine plus âgés et non sportifs.

D'autre part les variations du ratio constatées dans le conflit sous acromial sont peut-être en rapport avec une inhibition douloureuse prédominante sur un groupe musculaire. Ben-yishay (54) a en effet montré chez 14 sujets souffrant de conflit une différence significative de la force des abducteurs et des adducteurs évalués en isocinétique avant et après infiltration sous acromiale de lidocaïne. Ces muscles, après infiltration, ayant leur force augmentée de façon importante (+82% pour le pic de couple des abducteurs et +208% pour le pic de couple des adducteurs).

D'autres études sont nécessaires pour préciser les variations réelles du ratio RI/RE dans le conflit sous acromial, en adoptant une position de test la moins contraignante pour la coiffe, en s'intéressant à des populations homogènes aux caractéristiques définies et éventuellement en évaluant la force musculaire avant et après infiltration pour éliminer l'élément douloureux responsable d'une modification de la force produite par les muscles.

Concernant le couple extenseurs-fléchisseurs du poignet, la position de test idéale est avant-bras en position intermédiaire, reposant par le bord cubital, coude à 90° de flexion. Cette position permet de diminuer l'effet de la gravité, de développer une force optimale et favoriser l'action des palmaires et des radiaux (55). Il existe une



prédominance constante des fléchisseurs sur les extenseurs. Chez les non sportifs le ratio F/E se situe entre 1,72 pour les hommes et 3 pour les femmes (55, 56).

La pratique du tennis modifie ce ratio, qui diminue par accroissement préférentiel de la force des extenseurs. Chez des joueurs de tennis Calmels (56) retrouve des ratio variant de 1,62 chez l'homme à 2 chez la femme. En l'absence d'études comparant la force des fléchisseurs et extenseurs du poignet chez des sujets sportifs atteints ou indemnes d'épicondylite, il est impossible de préciser si les modifications du ratio F/E sont un élément responsable ou au contraire protecteur de l'épicondylite (56).

Un dernier ratio a été proposé par Denot-Ledunois (57) et Croisier (58), car reflétant mieux la physiologie du quadriceps et des ischiojambiers au cours de diverses activités sportives, il s'agit du *rapport IJ excentrique/Q concentrique*. Denot-Ledunois (57), évaluant la force excentrique des ischiojambiers et concentrique du quadriceps à la même vitesse, retrouve chez 7 sujets sportifs pratiquant le rugby des valeurs de 1,41 à 60°/s et 1,94 à 150°/s. Croisier (58) propose un rapport un peu différent: IJ excentrique 120°/s Q concentrique 240°/s ou IJ excentrique 30°/s Q concentrique 240°/s. Pour les deux rapports les valeurs sont de l'ordre de 1, 0,97 pour le premier et comprises entre 0,8 et 1,1 pour le second. Ces valeurs observées chez des sujets sains sont modifiées chez des patients présentant une lésion des ischiojambiers, alors inférieures à 0,8. Ceci correspond à une diminution de la force excentrique des ischiojambiers chez les sujets ayant une lésion tendino-musculaire de ces muscles, ceci avait déjà été noté en 1994 par Jön-hagen (22) qui avait montré, chez des coureurs à pied atteints de lésion des ischiojambiers, une diminution de la force excentrique de ces muscles alors que leur force concentrique n'était pas modifiée (22, 59). Worrel (60), lui, n'a pas retrouvé de modification de la force concentrique et excentrique des ischiojambiers chez des sujets ayant une lésion de ces muscles, mais ces résultats discordants sont peut-être liés à une absence d'homogénéité dans l'importance des lésions musculaires, les modifications de force excentrique n'apparaissent qu'en cas de lésion ancienne et/ou évoluée. Ces résultats discordants, de même que la grande variabilité individuelle notée par Croisier (58) imposent la réalisation d'études complémentaires pour définir des valeurs normatives, objectiver précisément les modifications du ratio IJ excentrique/Q concentrique lors des lésions musculaires et corrélérer éventuellement ces variations de ratio à l'état anatomique musculo-tendineux.

## Prévention et traitement isocinétiques des accidents tendino-musculaires

L'application préventive de bilans isocinétiques aux populations sportives à risque, afin de dépister et de compenser secondairement les éventuelles perturbations musculaires, constitue une démarche judicieuse. Une étude longitudinale révèle que l'exécution régulière d'épreuves isocinétiques entraîne une réduction des récurrences lésionnelles musculaires (61). Nous avons observé, à plusieurs reprises, un déséquilibre agonistes/antagonistes au niveau des membres inférieurs réputés sains et instauré préventivement un renforcement de compensation. Cette attitude apparaît d'autant plus pertinente que les sujets ayant une lésion unilatérale des ischio-jambiers présentent régulièrement des anomalies au niveau des muscles controlatéraux réputés sains.

Lors de lésions de coiffe non opérées, s'il existe un déséquilibre musculaire, l'isocinétisme permet une réharmonisation musculaire. Le renforcement isocinétique sera effectué en mode concentrique, le sujet est en position assise, tronc à 15° par rapport à la verticale, membre supérieur en abduction à 45° et dans le plan de la scapula, soit classiquement à 30° mais plus exactement 45° par rapport au plan frontal (62). Dans cette position la tension sur la coiffe et le risque de conflit est minimal (63, 64). Des butées limitent le débattement articulaire à 50° (10° de rotation interne, 40° de rotation externe par rapport à la position de référence) pour éviter tout conflit. La vitesse de renforcement sera initialement intermédiaire, 120°/s pendant les quinze premiers jours puis après ce délai les exercices pourront être effectués à la fois à vitesse plus lente (60°/s) et plus rapide (180°/s). À l'aide du bio-feedback visuel programmé, on demandera un travail à 100% de la force maximale sur le groupe musculaire déficitaire, à 70% de la force maximale sur le groupe non déficitaire. Il est évident que la montée en charge de ce renforcement isocinétique doit tenir compte des réactions douloureuses du sujet et s'adapter en permanence à celles-ci. Le travail excentrique semble, dans ce cas, également intéressant compte tenu de la physiologie et le fonctionnement des muscles de l'épaule, il respectera la règle de la non douleur et débutera en deçà de la force maximale enregistrée.

La rupture du tendon d'Achille a été étudiée par de nombreux auteurs:

- Sjostrom (65) et Coll. retrouvent une insuffisance musculaire de 17% sur les triceps à 2 mois de la chirurgie
- Bradley et Tibone (66) objectivent 13 à 20% de déficit après une réparation chirurgicale

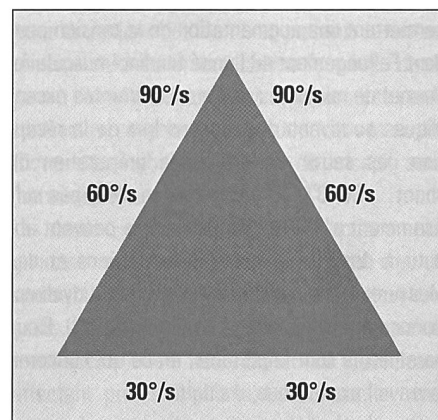
- En cas d'immobilisation prolongée, Nistor (67) retrouve environ 10% de perte musculaire sur les triceps
- Selon Hakan (68), la récupération musculaire du triceps après chirurgie du tendon d'Achille montre dans un travail prospectif que plus de six mois de rééducation sont nécessaires pour récupérer une force musculaire comparable au côté sain en concentrique et en excentrique.

### Quand commence-t-on?

L'isocinétique peut être débutée à la douzième semaine en concentrique et la seizième semaine en excentrique sur un spectre de vitesse de 30, 60, 90°/s seconde à raison de 10 répétitions dans chaque série. Certains sont plus agressifs et commenceront à la dixième semaine le concentrique et à la quatorzième semaine l'excentrique.

### Quel protocole?

Un protocole de réentraînement de type pyramidal tel que le décrit Davies sera utilisé avec une série de 10 répétitions par vitesse utilisée.



Protocole pyramidal avec 10 répétitions/vitesse.

Pour l'excentrique les mêmes vitesses seront utilisées avec une séance de travail tous les 3 jours pour éviter le DOMS (43) (Delayed Onset Muscular Soreness).

### Cas particulier

Dans les cas où il y a des ruptures itératives du tendon d'Achille multi opérées, nous sommes amenés à voir des déficits beaucoup plus importants à distance sur le triceps de 30 à 40%. Dans ces situations, l'entraînement associera un spectre de vitesse plus large avec des vitesses intermédiaires 120°/seconde, 180°/seconde en plus des vitesses lentes 30, 90°/seconde. Pour ces cas particuliers il est intéressant de travailler en excentrique à 30°/seconde, 60°/seconde, 90°/seconde, 3 à 5 séries de 10 répétitions. Un panache concentrique/excentrique sur les triceps à raison de 2 fois par semaine peut également être utilisé pour avoir un rendement optimum.

## Place du travail musculaire excentrique dans le traitement des tendinopathies

Stanish préconise le travail musculaire excentrique pour traiter les tendinites d'Achille et rotulienne (69). L'objectif est d'améliorer la résistance du tendon pour l'aider à supporter les contraintes imposées par la pratique sportive.

Nous adhérons tout à fait à cette idéologie. Cependant, le travail musculaire excentrique est responsable de la lésion (11). Tant que le sportif poursuit son entraînement, la mise en place d'un renforcement excentrique ne fait qu'augmenter les contraintes sur le tendon et risque d'aggraver la lésion. Il est souvent très difficile d'arrêter de manière suffisamment prolongée un sportif au stade I et II de tendinite. Chez ces sportifs, des moyens simples, cryothérapie, étirements, MTP et diminution de l'activité excentrique lors de l'entraînement doivent suffire à améliorer la symptomatologie.

La mise en place d'un protocole de renforcement musculaire excentrique demande du temps et l'arrêt de l'activité iatrogène. Il nous paraît indispensable au stade III, en l'absence de conflit mécanique, en complément du repos sportif et des techniques classiques de rééducation. Après chirurgie tendineuse, il est également nécessaire de proposer un travail de renforcement excentrique. En cas de conflit mécanique, il est insuffisant si les conditions du conflit mécanique ne sont pas levées.

## Protocole de travail musculaire excentrique

Stanish préconise 3 séries de 10 répétitions. Le travail commence quand l'étirement passif du complexe musculo-tendineux devient indolore. La progression s'effectue en augmentant progressivement la vitesse et la résistance comme sur le tableau I (70). La survenue de douleur à la fin de la 3<sup>ème</sup> répétition est souhaitable («No pain, no gain»). Cinq minutes de cryothérapie sont réalisées en fin de protocole.

En ce qui nous concerne, nous préférons réaliser le travail musculaire excentrique sur dynamomètre isocinétique car nous pouvons régler la vitesse de travail et le patient peut contrôler sur écran l'importance de l'effort fourni. Le travail doit être indolore, afin d'éviter tout risque de souffrance tendineuse. Le travail débute lorsque la contraction statique du muscle concerné, contre résistance manuelle, en course externe ne réveille pas de douleur que ce soit dans le cadre du traitement conservateur des tendinopathies ou dans les suites du traitement chirurgical. Nous travaillons à résistances progressives. Les vitesses de travail sont 30°/sec, 60°/sec et

90°/sec. L'évaluation excentrique initiale, qui doit rester infra-douloureuse, réalisée sur dynamomètre excentrique, permet un travail sous-maximal: 30%, 50% et 70% de la valeur mesurée. La durée du protocole est de 9 séances. Le rythme de travail peut être de 3 à 6 séances/semaine. En pratique, afin de réaliser un travail musculaire bénéfique, il faut travailler en course externe. Le quadriceps doit être travaillé hanche tendue afin de faire participer au mieux le droit antérieur. Les ischio-jambiers, quant à eux sont travaillés en flexion de hanche.

Le triceps est travaillé, genou en extension, en décubitus ventral ou dorsal.

Le sus-épineux est travaillé dans le plan de l'omoplate en légère antépulsion d'épaule, l'axe du mouvement devant être perpendiculaire au plan musculaire.

Le travail du sous-épineux s'effectue coude fléchi à 90°, l'épaule en légère abduction et antépulsion d'épaule. La longue portion du biceps est travaillée comme frénateur de la flexion du coude. Les épicondyliens sont travaillés en extension de coude et en pronation.

Notre protocole est réalisé sur un dynamomètre isocinétique *Biodesx*® réglé sur le mode passif. Le mouvement est imposé par la machine comme sur arthromoteur. On demande au patient de résister au mouvement imposé par la machine dans les conditions du protocole. Le retour s'effectue passivement.

Par exemple, lors du travail excentrique des ischio-jambiers, le patient s'oppose au mouvement d'extension de genou réalisé à vitesse constante par la machine sans dépasser la résistance programmée. Le retour en flexion s'effectue passivement.

L'évaluation en fin de protocole permet de contrôler la progression obtenue et de discuter la réalisation d'une nouvelle série de 9 séances. La reprise du sport est autorisée de manière progressive si le tendon est indolore et si la force excentrique est jugée suffisante. Ce protocole n'est peut être pas le plus performant, mais il n'a jamais été source de douleur dans notre expérience et a toujours permis des gains appréciables de force excentrique (+44,8% et +62,8% respectivement après 9 à 18 séances) (70).

Peu d'études se sont intéressées à la récupération de la force excentrique en cas de lésions musculaires ou tendineuses. Friden (71) et Bonde Petersen (72) insistent, chez le sujet sain, sur le fait que seul le travail excentrique permet d'améliorer essentiellement la force excentrique du complexe musculo-tendineux. Davies (17), quant à lui, montre le caractère spécifique de la vitesse et de l'amplitude de travail lors du travail concentrique sur la récupération musculaire. Il nous paraît donc fondamental de réaliser un travail ex-

centrique spécifique pour améliorer la résistance à l'étirement du complexe musculo-tendineux.

Il nous paraît également primordial de réaliser un travail progressif et quantifié afin d'éviter l'aggravation de la lésion tendineuse ou la survenue de douleurs musculaires, complications connues du travail musculaire excentrique.

## Travail excentrique et prévention des tendinopathies

A titre préventif, un renforcement excentrique des ischio-jambiers et des muscles de la coiffe des rotateurs, muscles antagonistes du mouvement, souvent lésés lors de la pratique sportive nous semble indispensable. En effet, la pratique sportive développe la force et/ou la puissance des muscles effecteurs du mouvement au détriment des muscles antagonistes. Une préparation spécifique des muscles antagonistes du geste sportif dans leur rôle de frénateur du mouvement nous paraît être la solution adaptée à la prévention de la pathologie musculo-tendineuse au même titre que la réalisation d'exercices d'étirement.

En ce qui concerne les muscles agonistes qui travaillent de manière excentrique lors de la pathologie sportive (triceps, quadriceps, épicondyliens), la réalisation d'un travail excentrique de prévention en plus du travail réalisé lors de l'entraînement ne nous semble pas souhaitable.

Il peut être licite de proposer un travail excentrique spécifique en début de saison, afin de préparer le complexe musculo-tendineux à la pratique sportive. Mais c'est surtout le contrôle en cours de saison de l'activité musculaire excentrique réalisée par le sportif qui est primordial afin d'éviter toute modification brutale de l'activité, que ce soit dans le sens de l'augmentation ou de la diminution (phénomène de transition de Leadbetter). Un entraînement bien conduit doit permettre au sportif de supporter progressivement des contraintes de plus en plus importantes sans risque de lésion.

Le travail musculaire excentrique a pour objectif d'améliorer la résistance à l'étirement du complexe musculo-tendineux et lui permettre de supporter les contraintes imposées par la pratique sportive. Mais le travail excentrique est également responsable de la lésion. La réalisation d'un protocole excentrique de renforcement musculaire ne peut pas s'envisager si le sportif poursuit son activité sportive iatrogène.

Il justifie, de par le risque de complications, la réalisation de protocole progressif et donc quantifié. L'utilisation d'un dynamomètre isocinétique permet de contrôler le travail réalisé et de quantifier les progrès réalisés. Le retour sur le terrain n'est autorisé que si la force excentrique du complexe musculo-tendineux est restauré.

## RÉFÉRENCES

- 1) *POCHOLLE M., CODINE P.*: Etude isocinétique des muscles du genou chez des footballeurs de première division. *Ann. Kinésithér.* 1994. 21, 373-7.
- 2) *MAC INTYRE D., WESSEL J.*: Knee muscle torques in patellofemoral pain syndrome. *Physiotherapy Canada* 1988. 40, 1, 20-3.
- 3) *SOLOMONOW M., BARATTA R., D'AMBROSIA R.*: The role of hamstrings in the rehabilitation of the anterior cruciate ligament deficient knee in athletes. *Sports Medicine* 1989. 7, 42-8.
- 4) *WORREL T.W., PERRIN D.H., GANSNEDER B.M., GIECK J.H.*: Comparison of isokinetic strength and flexibility measures between hamstring injured and non injured athletes. *J. Orthop. Sports Phys. Ther.* 1991. 13, 3, 118-25.
- 5) *OSTERNIG L.R.*: Isokinetic Dynamometry: Implications for muscle testing and rehabilitation. *Ex. Sport Sciences Rew.* 1986. 19, 45-80.
- 6) *CALMELS P., SALFATI-RIEFEL C., ABEILLON G., DOMENACH M., MINAIRE P.*: Etude dynamométrique de la flexion-extension du poignet chez les joueurs de tennis: approche étiopathogénique de l'épicondylite. *Ann. Réadapt. Méd. Phys.* 1988. 31, 483-91.
- 7) *CALMELS P., BERTHOUSSE S., BARRAL F.G., DOMENACH M., MINAIRE P.*: A comparative study of the muscle strength and mass of the arm flexors and extensors in paraplegic and in nonparaplegic basketball players. *Paraplegia* 1992. 30, 509-16.
- 8) *CALMELS P., MINAIRE P.*: The value of the agonist/antagonist muscle pairs ratio in rehabilitation. *Disability and Rehabilitation*, 1995. 17, 6, 265-76.
- 9) *GRABINER M.D., CAMPBELL K.R., HAWTHORNE D.L., HAWKINS D.A.*: Electromyographic study of the anterior cruciate ligament hamstrings synergy during isometric knee extension. *J. Orthop. Res.* 1989. 7, 1, 152-4.
- 10) *HAGOOD S., SOLOMONOW M., BARATTA R., ZHOU B.H., D'AMBROSIA R.*: The effect of joint velocity on the contribution of the antagonist musculature to knee stiffness and laxity. *Am. J. Sports Med.* 1990. 18, 2, 182-7.
- 11) *MIDDLETON P., TROUVE P., PUIG P. et al.*: Les effets du travail musculaire excentrique. In « Actualités en rééducation fonctionnelle » 1994. Masson: Paris 22-27.
- 12) *FRIDEN J., SJOSTROM M., EKBLOM M.*: Myofibrillar damage following intense eccentric exercise. *Int. J. Sport. Med.* 1983. 413, 170-6.
- 13) *RATHBURN J., McNAB I.*: The microvascular pattern of the rotator cuff. *J. Bone Joint Surg.* 1970. 52 B, 540-53.
- 14) *POUX D., CHRISTEL P., DEMARAIS Y. et al.*: Les ruptures de l'aponévrose plantaire. A propos de 30 cas. *J. Traumatol. Sport.* 1989. 6, 77-87.
- 15) *REBER L.*: Muscular control of the ankle in running. *Am. J. Sports Med.* 1993. 21, 805-10.
- 16) *GIANGARRA G., CONROY B., JOBE F. and Coll.*: Electromyographic and cinematographic analysis of elbow using single and double handed backhand strokes. *Am. J. Sports med.* 1993. 21, 394-9.
- 17) *FYFE I., STANISH W.*: The use of eccentric training and stretching in the treatment and prevention of tendon injuries. *Clin Sports Med.* 1992. 11, 601-24.
- 18) *McMASTER W.C., LONG S.C., CAIOZZO V.J.*: Isokinetic torque imbalances in rotator cuff of elite water polo players. *Am J Sports Med* 1991. 19, 72-5.
- 19) *RUPP S., BERNINGER K., HOPF T.*: Shoulder problems in high level swimmers. Impingement, anterior instability, muscular imbalance? *Int. J. Sports Med.* 1995. 16, 557-62.
- 20) *CHANDLER T., KIBLER W., STRACENER E., ZIEGLER A. & PACE B.*: Shoulder strength, power, and endurance in college tennis players. *Am J. Sports Med* 1992. 20, 4, 455-8.
- 21) *WILK K., ANDREWS J., ARRIGO C., KEIRNS M., ERBER D.*: The strength characteristics of internal and external rotator muscles in professional baseball pitchers. *Am J Sports Med* 1993. 21, 1, 61-66.
- 22) *JONHAGEN S., NEMETH G. and Coll.*: The role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility. *Am J Sports Med* 1994. 22, 262-6.
- 23) *TAYLOR D., DALTON J., SEABER A., GARRETT W.*: Experimental muscle strain injury. Early functional and structural deficits and the increased risk for reinjury. *Am J Sports Med* 1993. 21, 2, 190-4.
- 24) *AGRE J.*: Hamstring Injuries: Proposed aetiological factors, prevention, and treatment. *Sports Med* 1985. 2, 21-33.
- 25) *EKSTRAND J., GILLQUIST J.*: Soccer injuries and their mechanisms: A prospective study. *Med Sci Sports Exerc* 1983. 15, 3, 267-70.
- 26) *GENETY J., BRUNET-GUEDJ E.*: Traumatologie du sport en pratique médicale courante. 4<sup>ème</sup> Edition. Vigot 1988. Paris, 351.
- 27) *GARRETT W., CALIFF J., BASSETT F.*: Histochemical correlates of hamstring injuries. *Am J Sports Med* 1984. 12, 2, 98-103.
- 28) *WINTER D., SCOTT S.*: Technique for interpretation of electromyography for concentric and eccentric contractions in gait. *J Electromyogr Kinesiol* 1991. 1, 4, 263-9.
- 29) *CROISIER J.L., LUXEN P., LHERMOUT C., CRIELAARD J.M.*: Evaluation isocinétique concentrique et excentrique du genou chez l'adulte. In: Simon L., Pélissier J., Hérisson C., «Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation» 1994. Masson: Paris, 1-8.
- 30) *CROISIER J.L., CAMUS G., DEBY-DUPONT G., BERTRAND F., LHERMOUT C., CRIELAARD J.M., JUCHMES-FERIR A., DEBY-DUPONT C., ALBERT A., LAMY M.*: Myocellular enzyme leakage, polymorphonuclear neutrophil activation and delayed onset muscle soreness induced by isokinetic eccentric exercise. *Arch Physiol Biochem* 1996. 104, 322-9.
- 31) *CROISIER J.L., CRIELAARD J.M.*: Analyse critique de l'utilisation d'un appareil isocinétique. *J Traumatol Sport* 1995. 12, 48-52.
- 32) *DENUCCIO D.K., DAVIES G.J., ROWINSKI M.J.*: Comparison of quadriceps isokinetic eccentric and isokinetic concentric data using a standard fatigue protocol. *Isokin Exerc Sci* 1991. 1, 1-51.
- 33) *GROSS M.T.*: Chronic tendinitis; pathomechanics of injury, factors affecting the healing response, and treatment. *J Orthop Sports Phys Ther* 1992. 16, 248-52.
- 34) *JENSEN R.C., DIFABIO R.P.*: Evaluation of eccentric exercise in treatment of patellar tendonitis. *Phys Ther* 1989. 69, 211.
- 35) *BLAZINA M.E., KERLAN R.K., JOBE F.W. and Coll.*: Jumper's knee. *Orthop. Clin. North Am* 1973. 4, 665.
- 36) *JENSEN R.C., WARREN B., LAURSEN C., MORRISSEY M.C.*: Static pre-load effect on knee extensor isokinetic concentric and eccentric performance. *Med Sci Sports Exerc* 1991. 23, 10.
- 37) *RYAN L.M., MAGIDOW P.S., DUNCAN P.W.*: Velocity specific and mode specific effects of eccentric isokinetic training of the hamstrings. *J Orthop Sports Phys Ther* 1991. 13, 33.
- 38) *THOMAS G. GRACE N. and Coll.*: Isokinetic Muscle Imbalance and Knee-Joint Injuries. *J Bone J Surg* 1984. 78, 734-9.
- 39) *MACINTOSH B.R., HERZOG W., SUTER E., WILEY J.P., SOKOLOSKY J.*: Human skeletal muscle fibre types and force: velocity properties. *Eur J App Physiol* 1993. 67, 499-506.
- 40) *DERAMOUDET B., ROCHCONGAR P.*: Proposition d'un test d'endurance en isocinétisme adapté à des sujets non sportifs. *Ann Réadapt Méd Phys* 1990. 33, 47-53.
- 41) *EBBELING C.B., CLARKSON P.M.*: Muscle adaptation prior to recovery following eccentric exercise. *Eur J Appl Physiol Occupat Physiol* 1990 60, 26-7.
- 42) *FITZGERALD G.K., ROTHSTEIN J.M., MAYHEW T.P., LAMB R.L.*: Exercise-induced muscle soreness after concentric and eccentric isokinetic contractions. *Phys Ther* 1991. 71, 505-7.
- 43) *NEWHAM D.J.*: Eccentric contractions and delayed onset pain. *Eur J Appl Physiol* 1988. 57, 372-5.
- 44) *BENNETT J.G., STAUBER W.T.*: Evaluation and treatment of anterior knee pain using eccentric exercise. *Med Sci Sports Exer* 1986. 18, 526-30.
- 45) *GRACE T.G., SWEETSER E.R., NELSON M.A., YDENS L.R., SKIPPER B.J.*: Isokinetic muscle imbalance and knee joint injuries. *J. Bone. Joint. Surg.* 1984. 66A, 734-40.
- 46) *JONHAGEN S., NEMETH G., ERIKSSON E.*: Hamstring injuries in sprinters. The role of concentric and eccentric hamstring muscle strength and flexibility. *Am. J. Sports Med.* 1994. 22, 2, 262-6.
- 47) *MIDDLETON P., TROUVE P., PUIG P.*: Etude critique des rapports agonistes/antagonistes concentriques chez le sportif. In: «Actualités en Rééducation et Fonctionnelle et Réadaptation» 1994. Masson: Paris, 18-22.
- 48) *CROISIER J.L., CRIELAARD J.M.*: Mise au point d'un rapport isocinétique original fléchisseurs du genou/quadriceps. *J. Traumatol. Sport* 1996. 13, 115-9.
- 49) *SCOVILLE C.R., ARCIERO R.A., TAYLOR D.C., STONEMAN P.D.*: End range eccentric antagonist/concentric agonist strength ratios: a new perspective in shoulder strength assessment. *J. Orthop. Sports.*
- 50) *WARNER J.P. and Coll.*: Patterns of flexibility, laxity, and strength in normal shoulders with instability and impingement. *Am J Sports Med* 1990. 18, 366-75.
- 51) *BAK K., MAGNUSSON S.P.*: Shoulder strength and range of motion in symptomatic and pain-free elite swimmers. *Am. J. Sports Med.* 1997. 25, 454-8.
- 52) *CODINE P., POUCHOLLE M. et al.*: Apport de l'isocinétisme dans le bilan du conflit sous acromial. In «Pathologie de la coiffe des rotateurs» 1993. Paris: Masson, 148-54.
- 53) *BEN-YISHAY A., ZUCKERMAN J.D. and Coll.*: Pain inhibition of shoulder strength in patients with impingement syndrome. *Orthopedics* 1994. 17, 685-8.
- 54) *CALMELS P., ABEILLON G. et al.*: Bilan isocinétique du coude et du poignet. In « Isocinétisme et Médecine de Rééducation » 1991. Masson: Paris, 66-74.
- 55) *CALMELS P., SALFATI-RIEFEL C. et al.*: Relation entre le rapport fléchisseurs/extenseurs du poignet et l'épicondylite du joueur de tennis. *J. Traumatol. Sport* 1990. 7, 131-7.
- 56) *DENOT-LEDUNOIS S., FOSSIER E.*: Le rapport ischiojambiers-quadriceps en isocinétisme: concentrique ou excentrique? *Sci Sports* 1994. 9, 161-3.
- 57) *CROISIER J.L., CRIELAARD J.M.*: Mise au point d'un rapport isocinétique original fléchisseurs du genou/quadriceps. Application à une pathologie musculaire. *J Traumatol Sport* 1996. 13, 115-9.
- 58) *PATON R.W., GRIMSHAW P. and Coll.*: Biomechanical assessment of the effects of significant hamstring injury: an isokinetic study. *J Biomed Eng* 1989. 11, 229-30.
- 59) *WORREL T.W., PERRIN D.H. and Coll.*: Comparison of isokinetic strength and flexibility measures between hamstring injured and noninjured athletes. *J Orthop Sports Phys Ther* 1991. 13, 118-25.
- 60) *HEISER T., WEBER J., SULLIVAN G., CLARE P., JACOBS R.*: Prophylaxis and management of hamstring muscle injuries in intercollegiate football players. *Am J Sports Med* 1984. 12, 5, 368-70.
- 61) *PENINOU G., DUFOUR M.*: Mesures de la position spontanée de l'omoplate dans les plans sagittal et frontal. *Ann Kinésithér* 1995. 12, 365-9.
- 62) *DAVIES G.J.*: A compendium of isokinetics in clinical usage. 4<sup>e</sup> Ed. S and S publishers, Wisconsin, 1992.
- 63) *ZUCKERMAN J.D., LEBLANC J.M., CHOUKEA J., KUMMER F.*: The effect of arm position and capsular release on rotator cuff repair. *J Bone Joint Surg* 1991. 73, 402-5.
- 64) *SJOSTROM M., FUGL-MEYER A.R., WAHLBY L.*: Achilles tendon injury: plantar flexion strength and structure of the soleus muscle after surgical repair. *Acta Chir Scand* 1978. 144, 219-26.
- 65) *BRADLEY J.P., TIBONE J.E.*: Percutaneous and open surgical repair of Achilles's tendon rupture. A comparative study. *In J sports Méd* 1990. 18, 188-95.
- 66) *NISTOR L.*: Surgical and non-surgical treatment of Achilles tendon rupture. *J Bone Joint Surg* 1981. 63, 394-9.
- 67) *HAKAN A.*: Chronic achilles tendinitis and calf muscle strength. *American orthopaedic society for sports medicine* 1996. 829-33.
- 68) *STANISH W., RUBINOVICH R., CURUMS E.*: Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clin. Orthop.* 1986. 208, 65-8.
- 69) *MIDDLETON P., TROUVE P., PUIG P.*: Travail musculaire excentrique et traitement des lésions du LCA. In: «Stratégie de renforcement musculaire» 1995. Frison Roche Ed. 145-56.
- 70) *FRIDEN J., SEGER J., SJOSTROM M. and Coll.*: Adaptive response in human skeletal muscle subjected to prolonged eccentric training. *Int. J. Sports Med.* 1983. 4, 17-18.
- 71) *BONDE PETERSEN P., KNUTTGEN H., HENRIKSSON J.*: Effect of training with eccentric muscle contractions on skeletal muscle metabolites. *Acta Physiol. Scand.* 1973. 88, 564-70.