Zeitschrift: Physiotherapie = Fisioterapia
Herausgeber: Schweizerischer Physiotherapeuten-Verband
Band: 35 (1999)
Heft: 11

Artikel: Isocinétism et football professionnel : profil musculaire du genou chez 34 joueurs de D1

Autor: Pocholle, Michel / Delemme, Yves

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-929413

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: 01.07.2025

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

PRATIQUE

Isocinétisme et football professionnel

Profil musculaire du genou chez 34 joueurs de D1

Michel Pocholle, C.S.K., Chef de Service, 1800 Rue de St-Priest, F-34000 Montpellier
Yves Delemme, C.S.K., Clinique Fontfroide (même adresse)

La littérature anglo-saxonne abonde d'études traitant de l'isocinétisme, faisant de ce type de tests une méthode de choix pour l'évaluation musculaire de sportifs de haut niveau. Différents sports ont été étudiés, des particularités ont été de la sorte mises en évidence, et certaines valeurs reconnues comme référence. On peut ainsi trouver quelques études concernant les footballeurs de haut niveau, avec, toutefois, un échantillonnage assez limité dans la plupart des cas (inférieur à 25).
Nous nous proposons d'établir un profil musculaire type pour l'articulation du genou chez 34 footballeurs professionnels. Par l'analyse de la force, de la puissance, des ratios agonistes – antagonistes, nous distinguons des spécificités et proposons, en fonction des résultats et de leur comparaison avec la littérature, un entraînement adapté et un suivi de cet entraînement. Sans vouloir nous substituer à l'équipe médicale du club, nous suggérons des orientations permettant de compenser d'éventuels déséquilibres ou faiblesses, et surtout prévenir la survenue d'accidents préjudiciables à la carrière de ces sportifs de haut niveau.

Etat des lieux: concepts actuels

Le football

Si c'est un des plus vieux sports de la planète, il est aujourd'hui un sport de masse, populaire et médiatique. 1 900 000 licenciés (chiffres en France) jouent régulièrement sur les stades, à tous les niveaux. 18 clubs de division 1 occupent le haut du panier, et en font également un sport d'élite, berceau d'athlètes de *«haut niveau»*.
Un entraînement spécifique est donc nécessaire pour s'adapter à chaque niveau, mais aussi, comme dans tout sport de compétition, un suivi régulier de ce même entraînement s'avère indispensable pour accroître les performances et prévenir les risques d'accidents. Par ailleurs, l'évolution du football s'est fait vers un jeu beaucoup plus physique que par le passé, le nombre de rencontres ne cesse d'augmenter, championnats, coupes, compétitions internationales, rencontres amicales pouvant occasionner un surmenage dont il faut tenir compte dans les phases de récupération. Cependant, la fréquence des accidents est grande. Principales articulations concernées, le genou et la cheville sont soumis à d'importantes contraintes, musculo-articulaires majeures sur le genou, touchant aussi bien l'appareil musculaire que ligamentaire.

La pathologie musculo-tendineuse va toucher soit l'effecteur du mouvement (pathologie du droit antérieur lors d'une frappe de balle par exemple [1]), soit le groupe musculaire antagoniste (claquage des ischios-jambiers fréquemment rencontré [2]), ou occasionner des entorses plus ou moins graves, souvent dues à un mécanisme de pivot avec contact, lors d'un *«tacle»* par exemple. D'autre part, certains joueurs se blessent brutalement après avoir connu des années sans accident, d'autres connaissent par contre de multiples blessures, ce qui soulève plusieurs questions:

- Y a-t-il des facteurs prédisposants?
- Est-ce une question d'âge?
- Un changement de club, de forme d'entraînement sont-ils responsables et comment analyser ces facteurs?

Dès lors, il apparaît légitime de vouloir comprendre, au travers de tests musculaires fiables et reproductibles, les différentes capacités de ces joueurs et de les analyser. De plus, si l'on parvient à mettre en évidence des déséquilibres, des faiblesses, il sera plus facile de proposer un entraînement adapté, un programme spécifique pour y pallier.

L'isocinétisme

Initialement décrite par Hislop H. et Perrine J. [3], cette méthode présente l'originalité de pouvoir développer, à vitesse angulaire constante, une résistance musculaire maximale en tout point de l'arc angulaire d'une articulation déterminée. Cette résistance est auto adaptée à l'effort fourni par le sujet par l'intermédiaire d'un système de rétro contrôle actif, qui peut être mécanique, électrique ou hydraulique. Les progrès technologiques ont permis d'avoir aujourd'hui des dynamomètres isocinétiques fiables, permettant une exploration de la force musculaire tant concentrique qu'excentrique, à des vitesses allant jusqu'à 500°/s. Elles permettent également une mobilisation passive, un travail isométrique, et ce, en chaîne cinétique ouverte ou fermée.
La comparaison entre les différents modes de contraction est représentée dans le *tableau I.* Ceci permet de dégager les principaux avantages de l'isocinétisme.

Les principales données recueillies lors d'un test isocinétique sont de deux ordres:

- *Graphiques:* il s'agit de l'enregistrement des courbes de moment de forces développées par les groupes musculaires lors du test.
- *Numériques:* il s'agit des valeurs chiffrées de différents paramètres développés lors de la réalisation de test, et donc les principaux sont:
  - Pic de couple: c'est le moment maximal résistant, valeur très souvent étudiée dans les études effectuées jusqu'alors.
  - Le travail: il correspond à la surface de la courbe, et, pendant les premiers ⅛ de seconde du mouvement, il rend compte de la force explosive du muscle.
  - La puissance: indépendante de l'amplitude et de la vitesse du mouvement, elle est

Tableau I: Rappel des avantages et inconvénients des différents types de contraction

Type d'exercice	Avantages	Inconvenients
Isométrique	▮ Utilisation précoce ▮ Ralentit l'atrophie ▮ Entretien schéma moteur ▮ Exécution sur de courtes périodes ▮ Exécution n'importe où	▮ Difficultés de motivation ▮ Pas de travail en endurance ▮ Pas de travail en excentrique ▮ Augmentation force spécifique à l'angle
Isotonique	▮ Disponibilité immédiate ▮ Motivation par les résultats ▮ Double composante ▮ Augmente la force ▮ Peut augmenter la résistance	▮ Charge le muscle à son point faible ▮ Facteur d'impulsion ▮ Pas de vitesses fonctionnelles ▮ Pas adaptable pour douleur, fatigue ▮ Pas de contrôle ni de mesure
Isocinétique	▮ Efficacité en tout point de l'arc ▮ Sécurité: résistance = force appliquée ▮ Résistance auto adaptée ▮ Principe de Bernouilli ▮ Phénomène d'overflow ▮ Entraînement à vitesses multiples ▮ Supervision objective ▮ Reproductibilité, fiabilité ▮ Travail agoniste-antagoniste ▮ Feed-back ▮ Mesure de la fatigue	▮ Coût ▮ Pas de valeur diagnostic ▮ Contraction pas physiologique ▮ Pas de reproductibilité inter machines ▮ Pas d'uniformisation des mesures ▮ Douleurs possibles aux vitesses lentes ▮ Un seul patient à la fois ▮ Nécessité bonne tolérance myocardique ▮ Paramètres artificiels jusqu'à la vitesse

donc un critère très fiable et reproductible de la capacité du sujet à produire un effort sur l'amplitude totale du mouvement.

- Le ratio agoniste antagoniste: pour le genou, le ratio IJ/Q concentrique est le plus ancien et le plus fréquemment utilisé [4, 5, 6]. De nombreuses études ont démontré qu'il se situe, de manière constante, indépendante de l'âge, du sexe et du coté testé, à 0,5–0,6 à basse vitesse angulaire (30–60°) et à 0,7–0,8 à haute vitesse (≥180°), et qu'il était perturbé dans les lésions du LCA [7, 8, 9]. D'autres ratios sont utilisés aujourd'hui (IJ/Q excentrique / excentrique, Quadriceps concentrique / Ischios excentriques), sans qu'un consensus se dégage encore quant à l'utilisation et au protocole à suivre dans ce cas.

En pathologie on retrouve les aspects suivants:

☛ *Graphiques:* C'est l'accident de courbe, qui signe une inhibition douloureuse de la contraction et qui permet au rééducateur de sélectionner des secteurs angulaires non douloureux pour la rééducation.

☛ *Numériques:* C'est l'évaluation chiffrée du déficit musculaire portant sur le groupe agoniste ou antagoniste du mouvement étudié, ou même les deux.

Depuis les débuts de l'isocinétisme, des auteurs ont étudié les ratios, le pic de couple, la puissance moyenne, ainsi que l'influence du poids, de l'âge, de la taille, de différents modes d'entraînement, tant chez le sujet sain que dans les atteintes ligamentaires du genou, établissant, pour certaines valeurs, une référence consensuelle [10, 11, 12]. En matière de renforcement musculaire, l'efficacité de l'entraînement isocinétique et son transfert vers la pratique sportive a été démontrée [13, 14].

Isocinétisme et football

Un certain nombre d'études ont été réalisées, en grande partie dans la littérature anglo-saxonne.

Etudes évaluatives:

☛ Etude du pic de couple, des ratios IJ/Q, de la puissance moyenne, en concentrique, en excentrique, à la recherche de valeurs de référence [15, 16].

☛ Etudes de corrélations entre vitesse de frappe de balle et force maximale [17].

☛ Recherche de facteurs d'influence (poids, taille, âge, programmes d'entraînement, position de la résistance...) [12, 18, 19, 20].

☛ Rôle prophylactique des tests isocinétiques

☛ Fiabilité et reproductibilité des tests [21, 22, 23].

Etudes comparatives:

☛ A l'intérieur d'un même groupe.

☛ Football versus autres sports [12, 24].

Ces études ont cherché à mettre en évidence un déséquilibre pouvant expliquer l'étiopathogénie d'une lésion musculaire, tendineuse, ou d'une surcharge articulaire, ce, par rapport aux valeurs de références précédemment déterminées.

Bien que les valeurs de force et de puissance soient élevées chez les footballeurs, il semble qu'elles soient inférieures aux valeurs retrouvées chez des athlètes ou des basketteurs, bénéficiant de programmes de musculation spécifiques [10, 12, 24]. De même, il semblerait qu'il n'y ait pas de différence entre le côté dominant et le coté non dominant [25, 26]. Si l'évaluation en concentrique fait l'objet aujourd'hui d'un consensus quant aux valeurs de référence, il semble nécessaire de réaliser des études complémentaires pour définir des valeurs normatives dans l'évaluation excentrique ou concentrique/excentrique.

Materiels et méthodes

Population

Au cours de cette étude, nous avons évalué 34 joueurs de football, évoluant tous en première division. L'âge moyen de ces joueurs est de 26,4 ans, avec des extrêmes allant de 19 à 33 ans et une médiane à 26,5 ans. 17 joueurs ont un âge inférieur ou égal à 26 ans, 17 ont plus de 26 ans. En ce qui concerne le poste occupé sur le terrain, 16 sont des attaquants (milieux offensifs et avants), et 18 sont des défenseurs (milieux défensifs et arrières). Tous les joueurs sont exempts de pathologie au niveau des membres inférieurs au moins les deux années précédant le test.

Méthodes

Le dynamomètre

Les joueurs ont été testés sur un dynamomètre isocinétique de marque BIODEX, associé à un système informatique d'enregistrement des données. La fiabilité et la reproductibilité des mesures effectuées sur cet appareil ont déjà été démontrées [21, 22, 23].

Le protocole de test

☛ Installation du sujet:

Une installation stricte est nécessaire pour assurer la reproductibilité des mesures [27]. Aujourd'hui, un consensus se dégage autour d'une installation en position assise, avec une inclinaison postérieure du tronc de 15° par rapport à la verticale, mettant en prétension optimale les muscles ischios-jambiers. Un sanglage efficace est réalisé *(tronc, cuisse, fig. 1)* pour limiter au maximum les compensations et obtenir une reproductibilité suffisante des valeurs obtenues [28].

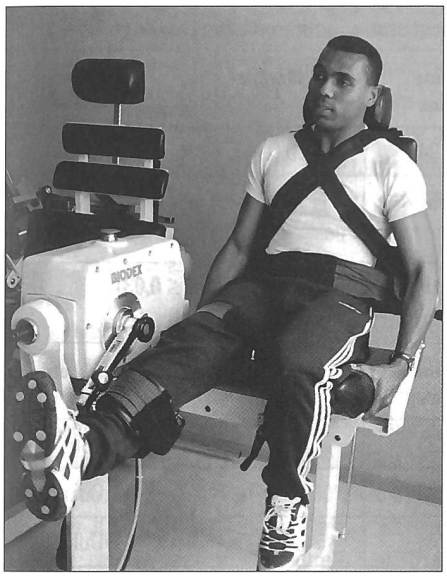

Fig. 1: **Installations du sujet selon des critères strictes, pour assurer la reproducibilité des mesures.**

De même, le genou controlatéral, et la cheville sont laissés libres, pour ne pas exercer d'influence sur la force développée [29, 30]. L'axe de rotation du dynamomètre est placé en parfaite coïncidence avec le centre de rotation du genou *(fig. 2)*, et le contre appui résistif en position distale (la longueur du bras de levier est intégrée par le dynamomètre). Le poids du membre testé est pris en compte, garantissant une comparaison entre les études. Le calcul du poids du membre et de l'accessoire utilisé est effectué par le dynamomètre, par une pesée avec les muscles totalement relâchés. Tous les joueurs réalisent les tests avec feed-back visuel, dans les mêmes conditions d'examen.

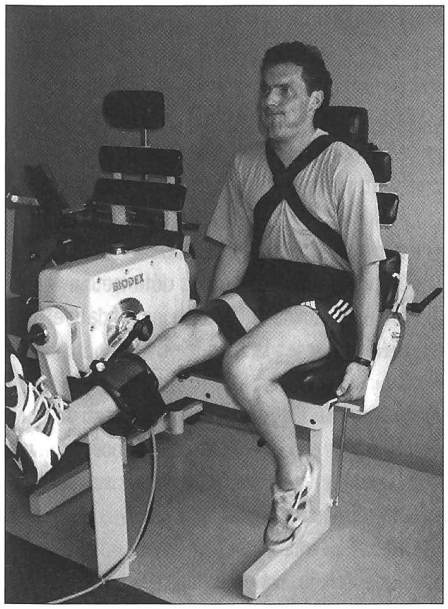

Fig. 2: **L'axe de rotation du dynamomètre est placé en parfaite coïncidence avec le centre de rotation du genou.**

☛ Les tests:
Ils sont réalisés de manière symétrique, comparative, pour les deux genoux dans le plan sagittal sur les mouvements de flexion – extension.

☛ Choix des vitesses et du mode de contraction:
Deux vitesses de test sont utilisées, en mode concentrique pour les deux groupes musculaires.
- 90°/seconde: cette vitesse correspond sensiblement à la vitesse de travail lors d'un exercice isotonique concentrique avec poids. Elle permet d'évaluer les capacités de force musculaire maximale que peut développer le sujet. Cinq répétitions en flexion – extension sont effectuées.
- 300°/seconde: cette vitesse va nous permettre d'explorer les fibres rapides du muscle testé ainsi que, par le nombre de répétitions proposées (dans notre étude 30 répétitions), la résistance et le coefficient de fatigue.

Ces vitesses ont été choisies pour des raisons de comparaison possible avec la littérature existante, ce sont des vitesses dont l'intérêt est bien établi à l'heure actuelle, utilisées dans de nombreux tests et protocoles et par de nombreux auteurs [5, 9, 15]. De même, les valeurs relevées en mode concentrique font l'objet d'un consensus permettant une comparaison inter études [5, 15, 16].

☛ La réalisation du test:
Un échauffement préalable et général est réalisé, sur bicyclette ergomètrique ou tapis roulant, ainsi que des exercices d'étirements actifs pour préparer les systèmes cardio-vasculaire et musculaire à produire un effort maximal. De même, une familiarisation avec le système isocinétique par des contractions submaximales aux vitesses de test permettent une amélioration de la reproductibilité dans les mesures (phénomène d'apprentissage) [4, 31].

Le test:
- 5 répétitions à 90°/s, flexion – extension maximales.
- 2 minutes de repos.
- 30 répétitions à 300°/s.
- Pour chaque genou, avec trois minutes de repos entre chaque côté.

Données recueillies pour analyse
- Pic de couple: aux deux vitesses, pour chaque groupe musculaire.
- Puissance moyenne.
- Puissance moyenne rapportée au poids.
- Ratios IJ/Q.
- Force explosive.

Les tests statistiques
L'analyse statistique a été effectuée en collaboration avec le Département d'Information Médicale du CHU de Montpellier (Docteur C. Vergnes, service Professeur Dujols, Hôpital Arnaud de Villeneuve), à l'aide du logiciel SAS Institute version 6.11. Un test est considéré comme significatif lorsque son degré de signification, noté *«p»*, est inférieur au seuil de significativité de cinq pour cent. La recherche d'une liaison entre deux variables qualitatives a été réalisée par le test du Chi deux ou le test exact de Fisher lorsque les effectifs sont trop faibles pour remplir les conditions de validité du Chi deux. Les comparaisons de moyenne pour chaque groupe musculaire en fonction de l'âge et du poste sur le terrain ont été effectuées par le test non paramétrique de Mann Withney Wilcoxon. Les comparaisons côté droit – côté gauche et côté dominant – côté non dominant ont été réalisées en série appariée (Signed Rank Statistic).

Resultats

Nous avons comparé, pour chaque groupe musculaire, aux deux vitesses et pour toutes les données recueillies, les différences pouvant exister entre:
- Comparaison en fonction de l'âge: inférieur ou égal à 26 ans et plus de 26 ans.
- Comparaison en fonction du poste occupé sur le terrain: attaquant ou défenseur.
- Comparaison entre jambe droite et gauche.
- Côté dominant et côté non dominant.
- En fonction des résultats trouvés: comparaison de la différence entre côté dominant et côté non dominant en fonction de l'âge et en fonction du poste occupé.

Comparaison en fonction de l'âge

Nous avons séparé les joueurs en deux sous-groupes:
- Inférieur ou égal à 26 ans.
- Supérieur à 26 ans.

- *Pour le quadriceps:* la différence est significative en faveur du sous-groupe >26 ans pour les paramètres suivants:
  - Pic de couple à 90°: quadriceps droit et gauche.
  - Force explosive à 90°: quadriceps droit et gauche.
- *Pour les ischio-jambiers:* aucune différence significative retrouvée, sauf pour la force explosive des ischios-jambiers droits à 300°, les gauches étant à la limite pour la même vitesse et toujours en faveur des joueurs les plus âgés.
- *Les ratios IJ/Q:* aucune différence significative n'est retrouvée pour l'analyse des ratios IJ/Q en fonction de l'âge.
- Pour les deux sous-groupes nous avons calculé le poids et la taille moyens *(Tableau II)*.

Comparaison en fonction du poste occupe sur le terrain

Les joueurs ont été séparés en deux sous-groupes:
- Attaquants: milieux offensifs et avants.
- Défenseurs: milieux défensifs et arrières.

- *Pour le quadriceps:* il n'existe pas de différence statistiquement significative entre attaquants et défenseurs en ce qui concerne les quadriceps sauf pour:
  - La force explosive du quadriceps droit à 90°/seconde ($p \leq 0,01$).
- *Pour les ischio-jambiers:* Les différences significatives relevées sont:
  - Pic de couple à 300°: ischios-jambiers droits, défenseurs les plus forts.
  - Force explosive à 300°: idem.
- *Les ratios IJ/Q:* Le ratio IJ/Q est plus élevé à 300°/seconde chez les défenseurs, de manière significative.
- Pour les deux sous-groupes nous avons calculé le poids et la taille moyens *(Tableau III).*

Comparaison jambe droite et jambe gauche

Des différences sont apparues sur les ischios-jambiers et pour les ratios IJ/Q, les valeurs trouvées étant supérieures pour la jambe droite.
- Pic de couple à 90°/s ($p \leq 0,002$).
- Puissance moyenne à 300°/s y compris rapportée au poids ($p \leq 0,02$ et $p \leq 0,03$ respectivement).
- Force explosive à 90°/s et 300°/s ($p \leq 0,0007$ et $p \leq 0,04$).
- Ratios à 90°/s et 300°/s ($p \leq 0,01$ et $p \leq 0,02$).

Nous n'avons pas retrouvé de différence significative pour les quadriceps

Comparaison côté dominant et côté non dominant

Par cette comparaison, nous avons voulu savoir s'il existait une latéralisation chez ces joueurs, une différence, donc, entre la jambe de frappe et la jambe d'appui, même si, on ne retrouve pas de résultats dans ce sens dans la littérature.

La différence côté dominant moins côté non dominant est retenue pour toutes les valeurs de paramètres.

- Pour le quadriceps *(Tableau IV).*
- Pour les ischio-jambiers *(Tableau V).*
- *Les ratios IJ/Q:* Il n'existe pas par contre de différence significative pour les ratios entre les deux côtés.

Influence du poste occupe sur la lateralisation

Nous avons trouvé précédemment une importante différence entre les cotés dominant et non dominant chez ces joueurs. Nous avons cherché à savoir si le poste occupé sur le terrain avait une influence sur cette différence. Les tableaux suivants regroupent les résultats pour le quadriceps, les ischio-jambiers et les ratios IJ/Q *(Tableaux VI et VII).*

Nous retrouvons une différence statistiquement significative, en fonction du poste sur le terrain pour:
- Les quadriceps: chez les attaquants, la différence entre côté dominant et côté non dominant est plus marquée pour les valeurs:
  - ☛ Pic de couple à 90°/seconde ($p \leq 0,005$).
  - ☛ Puissance moyenne à 90 et 300°/seconde ($p \leq 0,01$ et $p \leq 0,03$).
  - ☛ Puissance moyenne rapportée au poids pour les deux vitesses ($p \leq 0,01$ et $p \leq 0,02$).
- Le ratio IJ/Q à 90°/seconde ($p \leq 0,05$): différence plus forte chez les défenseurs.

Par contre aucune différence significative n'est retrouvée pour les ischios-jambiers.

Influence de l'âge sur la lateralisation

Nous avons recherché des différences pouvant exister entre les deux sous-groupes suivants:
- Inférieur ou égal à 26 ans.
- Plus de 26 ans.

Quelque soit les valeurs mesurées, tant pour le quadriceps que pour les ischios-jambiers, aucune différence significative n'a été relevée entre les deux sous-groupes.

Tableau II: **Les joueurs de plus de 26 ans sont statistiquement plus lourds ($p \leq 0,03$)**

Poids – taille	Moyenne + de 26 ans	Moyenne ≤ 26 ans	Différence P ≤	Significatif
Poids (kg)	78,294	74,294	0,034	Oui
Taille (cm)	180,470	179,352	0,506	Non

Tableau III: **Les défenseurs sont statistiquement plus âges ($p \leq 0,03$). Il sont également plus lourds ($p \leq 0,04$)**

Données	Moyenne Attaquants	Moyenne Défenseurs	Différence P ≤	Significatif
Taille	178,312	181,333	0,111	Non
Poids	72,875	79,333	0,041	Oui
Age	24,750	27,944	0,031	Oui

Tableau IV: **Toutes les valeurs sont hautement significatives pour les quadriceps entre côté dominant et non dominant, le coté dominant étant plus fort sauf pour la force explosive à 300°/seconde**

Quadriceps	Pic de couple A 90°	Pic de couple A 300°	Puissance moyenne A 90°	Puissance moyenne A 300°	Force explosive A 90°	Force explosive A 300°	Puissance moyenne/ Poids, 90°	Puissance moyenne/ Poids, 300°
Moyenne	16,735	10,735	14,825	12,500	14,500	2,029	0,195	0,167
Ecart Type	25,305	16,168	23,198	30,574	26,946	24,250	0,307	0,405
Médiane	13	13	8,5	8,5	5	8	0,116	0,110
P ≤	0,0003	0,0004	0,0008	0,021	0,009	0,1950	0,0007	0,015

Tableau V: **La différence est hautement significative en faveur du coté dominant pour toutes les valeurs mesurées**

Ischios	Pic de couple A 90°	Pic de couple A 300°	Puissance moyenne A 90°	Puissance moyenne A 300°	Force explosive A 90°	Force explosive A 300°	Puissance moyenne/ Poids, 90°	Puissance moyenne/ Poids, 300°
Moyenne	8,911	9,823	8,676	10,852	10,911	9,205	0,114	0,146
Ecart Type	16,786	15,706	20,497	24,474	21,999	14,611	0,275	0,333
Médiane	9	9,5	8,5	11	11	8,5	0,109	0,137
P ≤	0,004	0,0005	0,019	0,007	0,006	0,0003	0,020	0,007

Discussion

Les tests statistiques utilisés nous ont permis de déceler plusieurs différences significatives. Si certaines semblent corroborer les résultats de la littérature, d'autres, par contre, sont totalement opposées et peuvent ainsi apporter un nouveau regard sur les futures évaluations dans ce domaine, ou bien une remise en cause des protocoles utilisés.

Nous avons retrouvé des valeurs particulièrement élevées, à toutes les vitesses tant sur le pic de couple que sur les puissances, ce qui est normal pour des sportifs de ce niveau, et confirme les données actuelles [32, 36]. Les ratios IJ/Q sont en moyenne de 0,6 à 0,65 à 90°/s et de 0,7 à 0,75 à 300°/s. Selon Gobelet, Kerkour, Fossier, Kannus, ces ratios se situent entre 0,5 et 0,6 à vitesse lente et entre 0,7 et 0,8 pour des vitesses supérieures à 180°/s [4, 5, 9]. Ces rapports reflètent l'état musculaire du sujet et des valeurs inférieures à celles précédemment citées indiqueraient un déséquilibre favorisant la survenue ou la récidive de lésions ostéoarticulaires, musculotendineuses ou ligamentaires, principalement en position d'instabilité du genou [32, 33]. Pour nos joueurs les valeurs semblent donc témoigner d'une bonne balance musculaire, garante d'un moindre risque.

Différences significatives entre jambe droite et jambe gauche

Des différences sont apparues sur les ischios-jambiers et pour les ratios IJ/Q, les valeurs trouvées étant supérieures pour la jambe droite. Nous n'avons pas retrouvé de différence significative sur les quadriceps. Dans des études précédentes, il n'apparaît pas d'écart entre les deux membres inférieurs et il est généralement considéré, pour la suite des recherches, le membre inférieur droit exclusivement. Rochcongar et Morvan [26] ne retrouvent aucune différence significative dans leur étude sur des joueurs de football de différentes divisions, ni chez les adultes auxquels ils les ont comparés. De même, Pocholle et Codine [32] font état d'une différence de 6 à 8%, non significative, entre les deux côtés dans un groupe de onze footballeurs professionnels. Il semblerait, chez nos joueurs, que les capacités de force musculaire soient plus élevées sur la jambe droite pour les ischios-jambiers, mais aussi les capacités à produire un effort sur toute l'amplitude du mouvement à haute vitesse pour ces mêmes muscles. Les ratios IJ/Q aux deux vitesses sont également plus élevés à droite, ce qui s'explique par les valeurs plus élevées des ischios-jambiers, les données restant toutefois des deux côtés dans la moyenne décrite par tous les auteurs. Il ne faut pas oublier qu'il est considéré qu'un écart supérieur ou égal à 10% entre les rapports obtenus favoriserait la survenue de lésions [34, 35]. Par contre, en ce qui concerne les quadriceps, nous avons retrouvé des valeurs tout à fait superposables entre les deux jambes.

Tableau VI

Quadriceps	Pic de couple A 90°	Pic de couple A 300°	Puissance moyenne A 90°	Puissance moyenne A 300°	Force explosive A 90°	Force explosive A 300°	Puissance moyenne/ Poids, 90°	Puissance moyenne/ Poids, 300°
Moyenne Attaquants	21,062	20,375	21,875	21,406	18,750	20,125	22,125	21,687
Moyenne Défenseurs	14,333	14,944	13,611	14,027	16,388	15,166	13,388	13,777
Différence P ≤	0,005	0,112	0,016	0,032	0,500	0,152	0,011	0,021
Ischios	**Pic de couple A 90°**	**Pic de couple A 300°**	**Puissance moyenne A 90°**	**Puissance moyenne A 300°**	**Force explosive A 90°**	**Force explosive A 300°**	**Puissance moyenne/ Poids, 90°**	**Puissance moyenne/ Poids, 300°**
Moyenne Attaquants	17,062	16,937	17,593	15,500	16,250	17,812	17,750	15,812
Moyenne Défenseurs	17,888	18,000	17,416	19,277	18,611	17,222	17,277	19,000
Différence P ≤	0,822	0,769	0,972	0,276	0,500	0,862	0,903	0,360

Tableau VII

Ratios	Moyenne Attaquants	Moyenne Défenseurs	Différence P ≤
IJ / Q 90°	13,937	20,666	0,05
IJ / Q 300°	14,781	19,916	0,13

Différences significatives en fonction de l'âge

Les différences retrouvées sont en faveur des joueurs les plus âgés:

- Pour les quadriceps: pic de couple à 90°/s ($p \leq 0,03$) et force explosive à la même vitesse ($p \leq 0,04$) à droite; de même, on retrouve une différence à gauche, ($p \leq 0,07$) pour le pic de couple à 90°/s et significative ($p \leq 0,04$) pour la force explosive à 90°/s.
- Pour les ischios-jambiers: force explosive à 300°/s à droite ($p \leq 0,01$), et à gauche, on retrouve aussi une différence, non significative ($p \leq 0,08$).
- D'autre part, les joueurs plus âgés sont statistiquement plus lourds ($p \leq 0,03$).

Il est communément admis que la force musculaire décroît progressivement à partir de 25 ans, sauf chez les sujets sportifs comme le montre l'étude de Gobelet portant sur 480 sujets sains [9]. Chez ces footballeurs, la force est même supérieure pour les deux quadriceps à 90°/s (significativement à droite). La force globale, produite par la mise en jeu d'un maximum d'unités motrices est donc supérieure sur les quadriceps. La force explosive des ischios-jambiers à vitesse rapide est également supérieure. Il est possible que ces joueurs aient bénéficié d'un programme de musculation plus intense, sur les quadriceps mais aussi sur les ischios-jambiers car on ne retrouve pas de différence sur les ratios, il faut cependant tempérer cette constatation par le fait que ces athlètes sont également plus lourds et peuvent donc développer une force supérieure.

Différence significatives en fonction du poste sur le terrain

Attaquants et défenseurs ne sont pas statistiquement égaux, les défenseurs sont plus forts pour les valeurs:

- Force explosive du quadriceps droit à 90°/s ($p \leq 0,01$).
- Pic de couple et force explosive des ischios-jambiers droits à 300°/s ($p \leq 0,01$ et $0,04$).
- Ils sont également plus lourds et plus âgés ($p \leq 0,04$ et $0,03$).

Rochcongar et Morvan [26] avaient retrouvé, dans leur étude sur des joueurs du Stade Rennais, des différences en faveur des défenseurs, sans que celles-ci soient significatives. Ils avaient

même relevé un ratio plus fort à basse vitesse chez les défenseurs et une inversion des résultats sur le ratio à haute vitesse en faveur des attaquants, ce que nous n'avons pas retrouvé dans notre étude, ce qui paraît logique compte tenu du fait que les ischios-jambiers sont plus forts à 300°/s, et ce, statistiquement à droite. Les valeurs sont globalement plus élevées sur les quadriceps sur les pics de couple, notamment à 90°/s, significativement sur les pics de couple des ischios-jambiers à vitesse rapide, ce qui retranscrit bien la physiologie de ces deux différents groupes musculaires. Toutefois ces joueurs sont également statistiquement plus lourds et en terme de puissance ramenée au poids corporel, ces différences tendent donc à s'estomper.

Différences significatives par rapport au côté dominant

Au cours de notre étude, il est apparu des différences significatives entre le membre inférieur droit et le membre inférieur gauche. Ces résultats diffèrent avec ceux retrouvés dans la littérature. Cependant, ces différences ne tiennent pas compte de la latéralisation des joueurs. Il nous a semblé intéressant de rechercher si ces écarts étaient retrouvés entre la jambe de frappe et la jambe d'appui, bien que cette différence n'ait pas été mise en évidence dans les études précédemment menées. En effet, ni Morvan dans sa thèse sur des footballeurs de première division et sur des jeunes juniors, cadets, minimes et aspirants en sport études [36], ni Oeberg dans son étude sur des footballeurs suédois de différentes divisions [37] n'ont retrouvé de différences significatives entre le côté dominant et le côté non dominant. Pocholle et Codine [32] n'en décrivent pas non plus dans leur étude sur 11 joueurs professionnels. Nos résultats indiquent que, pour les quadriceps et les ischios-jambiers, toutes les différences mesurées, à l'exception de la force explosive à 300°/s des quadriceps sont hautement significatives et en faveur du côté dominant.

Ces résultats s'opposent donc aux résultats de la littérature [25, 26, 32, 36]. Comment expliquer de telles différences? S'il pourrait apparaître logique, dans une population normale, de trouver des écarts en faveur du membre dominant, nous pensions que le football actuel gommerait ces différences. En effet, une des qualités d'un footballeur professionnel est sa capacité à alterner les pieds de pivot, droit ou gauche, à dribbler et frapper la balle parfaitement des deux pieds et les méthodes d'entraînement modernes accompagnent cette adaptabilité. Pourtant, dans notre étude, la latéralisation est un fait marquant, significatif à plus de 99%! Croisier et coll. avaient retrouvé aussi une latéralisation chez 20 adultes sains sur le pic de couple des quadriceps à 60 et 240°/s et sur le pic de couple des ischios-jambiers à 240°/s, ainsi que des ratios statistiquement plus élevés, en faveur des jambes dominantes [33] mais ces résultats ne sont pas retrouvés chez les footballeurs précédemment évalués.

Si l'on compare des études différentes, pour des populations comparables, de joueurs de première division, on retrouve 23 sujets chez Rochcongar et Morvan, 11 sujets chez Pocholle et Codine, 180 sujets chez Oeberg. Les vitesses de test utilisées sont de 30°, 60°, et 180°/s chez Rochcongar et Morvan, 90, 180, et 300°/s chez Pocholle et Codine, et 30 et 60°/s chez Oeberg. On ne peut donc pas affirmer qu'un nombre insuffisant de sujets induirait ces écarts.

De même, en ce qui concerne les vitesses utilisées et pour les valeurs de pic de couple, il a déjà été montré que la force diminuait avec l'augmentation de la vitesse et nous pourrions donc, proportionnellement, pouvoir effectuer une comparaison. Il est par contre plus difficile de retenir l'étude d'Oeberg en ce qui concerne le protocole de test, le siège d'examen ne possédant pas de dossier, le torse et la hanche peuvent participer au mouvement et augmenter la performance.

L'étude de Rochcongar et Morvan date de 1986, celle d'Oeberg est antérieure, par contre les résultats de Pocholle et Codine ont été publiés en 1994, sur un même dynamomètre isocinétique Biodex, mais l'échantillon est petit et peut expliquer l'absence de différences significatives. Dix à quinze ans d'écarts pourraient expliquer une évolution vers une latéralisation si les méthodes d'entraînement modernes n'allaient à l'encontre de cette spécialisation. Nous pourrions penser, également, que cette équipe n'a pas, au cours de son programme d'entraînement, effectué un travail de renforcement spécifique du coté non dominant, et, ou, au contraire, privilégié la latéralisation sur le terrain. Il serait intéressant, par la suite, de rechercher si de telles différences sont retrouvées par rapport à cette position latérale.

Un autre élément est à prendre en compte pour tenter d'expliquer ces écarts, c'est le protocole statistique utilisé. Pour cette comparaison, nous avons utilisé un test en série appariée (Signed Rank Statistic). Des tests réalisés en série non appariée peuvent donner des résultats non significatifs, la comparaison de moyennes globales étant moins précise. Il est donc, une fois encore, important de signaler la nécessité d'un protocole statistique irréprochable pour permettre une comparaison inter études.

Il faut noter que nous n'avons pas, par contre, trouvé de différence sur les ratios IJ/Q. Ce résultat, chez des sportifs de haut niveau, va également à l'encontre des valeurs significativement plus élevées déterminées par Croisier et coll. dans leur étude sur des adultes. L'augmentation des performances du côté dominant n'a pas été développée au détriment d'un bon équilibre musculaire entre les deux groupes antagonistes. Dès lors, nous nous sommes également intéressés à la recherche d'une influence de l'âge ou du poste occupé sur le terrain sur cette dominance.

Influence de l'âge sur la dominance

L'âge semble n'avoir aucune influence sur la latéralisation de ces joueurs, aucune différence significative n'a été retrouvée quelles que soient les valeurs recherchées. Chez les sportifs, il n'est pas retrouvé de diminutions importantes des valeurs de force musculaire avec l'âge [9, 33], et nous avons même retrouvé des valeurs statistiquement plus élevées sur le pic de couple des quadriceps à 90°/s. Par conséquent, en terme de différence coté dominant – coté non dominant, nous pouvions nous attendre à ne pas retrouver de différence significative entre les deux groupes.

Influence du poste occupé sur le terrain

La différence entre jambe de frappe et jambe d'appui est plus marquée chez les attaquants que chez les défenseurs, pour les quadriceps et pour les valeurs:

– Pic de couple à 90°/s, puissance moyenne à 90 et 300°/s y compris rapportée au poids corporel. Les attaquants apparaissent donc plus *«latéralisés»* dans la frappe de balle.

Nous n'avons pas retrouvé de différence plus marquée sur les ischios-jambiers dans l'un ou l'autre groupe.

Par contre, en ce qui concerne les ratios IJ/Q, la différence est plus marquée chez les défenseurs et elle est statistiquement significative à 90°/seconde ($p \leq 0,05$).

Les défenseurs sont généralement plus forts, même s'il apparaît peu de différences significatives avec les attaquants, ce que Morvan avait aussi décrit dans sa thèse, donnant comme explication possible la différence de travail effectué par le joueur selon le poste qu'il occupe sur le terrain. Il avait également retrouvé des ratios plus élevés chez les défenseurs à vitesse lente. Ces résultats ne tenaient pas compte d'une éventuelle dominance. Il semblerait, dans notre étude que les défenseurs, déjà plus forts, aient particulièrement développé cette force en faveur de leur membre dominant, à basse vitesse. On retrouve donc naturellement une différence plus marquée sur le ratio IJ/Q à cette même vitesse.

Analyse globale

Chez ces joueurs professionnels, il apparaît une latéralisation importante, en faveur du côté do-

minant. Nous avions pu entrevoir cette différence par les écarts trouvés entre le membre inférieur droit et le membre inférieur gauche, écarts portant sur les ischios-jambiers et, de ce fait, sur les ratios IJ/Q. Cette latéralisation n'est pas apparue dans les études précédemment menées chez des footballeurs de haut niveau [26, 32, 37], mais avait été démontrée par Croisier, pour certaines valeurs sur des adultes sains [33]. Les différences sont importantes et statistiquement significatives à plus de 99% pour toutes les valeurs recherchées hormis la force explosive des quadriceps à 300°/s et les ratios IJ/Q aux deux vitesses de test. Ces résultats remettent donc en question la façon dont il faudra aborder les évaluations futures dans ce domaine. En effet, il était considéré jusqu'à présent les valeurs de la jambe droite uniquement. Nous ne pouvons plus nous contenter de ces seules valeurs, et il faudra introduire cette notion de dominance pour ne pas créer de biais dans les résultats. Il est également important d'harmoniser les protocoles de tests, tant d'évaluation que de statistiques, afin d'améliorer les comparaisons inter équipes. Il est peu probable que de telles différences soient simplement dues à un entraînement moins adapté dans cette équipe ou à un échantillon trop faible et nous nous devons donc cette rigueur dans notre approche des évaluations mais aussi dans l'analyse de nos résultats. Par contre il est important de signaler que cet écart ne se fait pas en défaveur d'un bon équilibre musculaire, les ratios restant dans les valeurs moyennes de la littérature. L'augmentation de force du côté dominant se réalise donc de façon harmonieuse, ce qui est important pour éviter un risque de lésion du genou. Le ratio IJ/Q concentrique reste, par conséquent, une donnée de choix dans l'analyse des capacités musculaires. Il est indépendant de l'âge, du poste et de la latéralisation chez nos joueurs et témoigne de la conservation d'une bonne balance agoniste/antagoniste.

Cet équilibre semble n'être conservé que dans une population de sportifs de haut niveau puisque Croisier et coll. avaient retrouvé des valeurs contraires chez des adultes, à savoir un ratio plus élevé sur le côté dominant.

Nous avons également trouvé que les défenseurs étaient généralement plus forts que les attaquants, et plus âgés ce qui explique en partie que les joueurs de plus de 26 ans soient également plus performants dans notre étude. Ces données corroborent par contre les valeurs retrouvées dans l'ensemble de la littérature.

L'évaluation concentrique des muscles du genou en isocinétisme est une des plus anciennes utilisées, ces données sont fiables et reconnues, c'est pourquoi il était intéressant d'éclairer d'un jour nouveau les recherches effectuées chez des sportifs de haut niveau.

Critique de l'étude

Cette étude est consacrée à des sportifs de haut niveau, footballeurs professionnels, évoluant tous en première division et exempts de pathologie au niveau des membres inférieurs. Les valeurs trouvées, les conclusions qui en découlent, reflètent l'état musculaire de cette équipe et ne peuvent être extrapolées directement chez les autres joueurs de division 1. De même, comme l'ont montré d'autres études [9, 10, 12, 24], la corrélation ne peut être établie avec d'autres sportifs car on retrouve des valeurs très différentes en fonction du sport pratiqué et de l'entraînement auquel les athlètes peuvent être soumis. Par contre, nous pouvons recommander fortement la prise en compte de la dominance entre les deux membres inférieurs pour éviter un biais dans les futures évaluations.

Dans cette étude, nous n'avons considéré également que des valeurs en concentrique pour les deux groupes musculaires. Si cela est justifiable pour les quadriceps dont c'est le mode d'action dans toutes les phases de tir au but, cela l'est moins sur les ischios-jambiers dont le fonctionnement freinateur et stabilisateur dans le geste sportif n'est plus à démontrer. Les lésions sur ce groupe musculaire interviennent plus fréquemment en conditions excentriques.

Il semblerait donc opportun d'effectuer des évaluations en collant de plus prés à la spécificité musculaire et de proposer, par exemple, d'autres ratios. Le ratio excentrique/concentrique pour un groupe musculaire a été décrit par Hanten et Alexander [10, 28] et Croisier et Denot-Ledunois [38] ont également proposé un rapport IJ excentrique/Q concentrique reflétant mieux la spécificité de ces muscles dans la pratique sportive. Pourtant, aucun consensus ne s'est encore dégagé aujourd'hui pour l'établissement de valeurs de référence dans cette forme d'évaluation, les données retrouvées restent trop disparates et non comparables. Par contre, les données en concentrique et notamment le ratio IJ/Q restent des valeurs reproductibles, couramment utilisées et suffisamment fiables pour permettre la comparaison inter études. Un autre problème peut être soulevé dans l'analyse de nos résultats. Le facteur dominance n'a pas été pris en compte dans les comparaisons entre les joueurs de moins de 26 ans et leurs aînés, de même ente les attaquants et les défenseurs. Il y a là un risque de biais que peut compenser en partie une population assez élevée ou un équilibre entre coté dominant et coté non dominant dans chaque groupe. Cependant, nous avons quand même recherché l'influence de ce facteur au sein de ces différents groupes. La petitesse des sous-groupes obtenus ne nous a pas permis de conclure définitivement sur cette influence, l'analyse statistique sur des tableaux à *«double entrée»* nécessitant un échantillonnage plus conséquent. Il sera donc intéressant de poursuivre dans le futur une investigation dans ce sens.

L'avenir

Cette étude nous a confirmé l'intérêt de l'évaluation musculaire isocinétique concentrique chez des sportifs de haut niveau. Les données recueillies sont fiables, reproductibles et permettent d'établir un profil de ces joueurs et les différences en fonction de leur spécificité. Les valeurs de couple aux différentes vitesses, la puissance, les ratios font l'objet d'un consensus qui permet la comparaison avec d'autres études. Cependant nos résultats indiquent que tout n'avait pas été dit dans ce domaine et que des facteurs jusque là ignorés sont à prendre en compte dans les évaluations futures.

L'avenir, en matière d'évaluation isocinétique dans le sport comme dans une population non sportive, c'est avant tout la concertation. Concertation entre les équipes qui pratiquent de telles évaluations, établissement de protocoles de tests communs qui permettront de définir des valeurs de référence quant aux nouvelles orientations de l'évaluation. Il est vrai que les techniques excentriques présentent des intérêts multiples, même si elles n'ont pas recueilli, au début, la faveur des utilisateurs. Les dynamomètres modernes permettent ces évaluations différentes et la recherche de nouveaux ratios permettant de mieux coller à la spécificité d'un geste sportif ou à la physiologie musculaire.

Il nous appartient donc de nous regrouper afin de pouvoir réaliser des études complémentaires sur de grandes séries, permettant un protocole statistique encore plus fiable et significatif. Le futur dans ce domaine passe aussi par la validation de protocoles et d'évaluations en chaîne cinétique fermée, les premiers résultats obtenus paraissant très encourageants [39, 40, 41].

L'avenir, pour l'étude en elle-même, est de proposer à ces joueurs un entraînement spécifique, permettant de remédier aux écarts retrouvés entre les deux côtés, dominant et non dominant. En effet, une des qualités du footballeur actuel est bien de pouvoir jouer indifféremment des deux pieds, tant en matière de dribbles que de puissance de frappe, et nos résultats nous laissent supposer une différence dans ces capacités. Il est donc licite d'envisager un programme de renforcement du membre inférieur non dominant pour gommer les différences constatées.

Les défenseurs sont plus puissants, certainement en raison des contraintes inhérentes au

poste et bénéficient peut-être, de ce fait, d'un programme de musculation plus intense. C'est à l'ensemble du *«staff»* médical et à l'entraîneur de déterminer si une musculation plus intensive serait bénéfique aux attaquants sans diminuer leurs capacités de vivacité et rapidité d'action. L'avenir, c'est ainsi améliorer les performances au travers d'un entraînement adapté et optimisé et surtout par un suivi régulier dans l'évaluation, permettre de rectifier les carences ou déceler un éventuel déséquilibre après blessure, et même déterminer le moment opportun de reprise de l'entraînement et de la compétition en cas d'arrêt prolongé après intervention chirurgicale par exemple.

Nous pourrions ainsi proposer une évaluation en début de saison, qui donnerait un *«check-up»* musculaire de ces joueurs et indiquerait les axes de travail à privilégier à l'entraînement, puis une évaluation en cours de saison, afin de déceler si des insuffisances persistent ou si des carences, une fatigue, commencent à apparaître, et, enfin, un test en fin de saison, bilan final d'une année bien remplie. Toutefois, nous ne sommes là que pour permettre, par notre évaluation, la mise en exergue de particularités, de déséquilibres éventuels et proposer certaines solutions qui seront débattues en concertation avec la direction médicale de l'équipe, il n'est pas question de nous substituer de quelque façon que ce soit, à l'entraîneur ou à l'équipe dirigeante du club.

Conclusion

L'évaluation isocinétique concentrique reste d'un grand intérêt chez le sportif de haut niveau. Les données recueillies permettent de cerner parfaitement le profil type de ces athlètes, de déterminer l'influence relative de la latéralisation, de l'âge, de la spécificité du sport pratiqué et, à l'intérieur d'un sport donné, des particularités dues au sport en lui-même.

Elle permet également de mesurer les ratios agonistes/antagonistes, et par cette mesure fiable, de déceler des imperfections dans l'équilibre musculaire, de proposer des solutions pour y remédier et d'évaluer, par la suite, l'efficacité des remèdes apportés.

En matière de prévention et de suivi de l'entraînement, elle demeure une méthode de choix pour l'amélioration des performances en cours de saison sans nuire au *«capital santé»* de ces sportifs.

L'avènement d'autres formes d'évaluation, collant plus près à la physiologie des différents groupes musculaires et au geste sportif, devrait permettre d'obtenir de nouvelles valeurs de référence qui nous donneront des indications encore plus précises tant au niveau préventif qu'en matière de renforcement spécifique.

BIBLIOGRAPHIE

1) *PARIER J., DEMARAS Y., POUX D., COMBELLES F.:* La pathologie du droit antérieur dans la pratique du football. Entretiens de médecine du sport 1994. Expansion Scientifique Française. 96–100.
2) *MIDDLETON P., PUIG P., TROUVE P.:* Claquage des ischios-jambiers du footballeur: physiologie et facteurs favorisants. Entretiens de médecine du sport 1994. Expansion Scientifique Française. 91–95.
3) *HISLOP H., PERRINE J.:* The isokinetic concept of exercice. Phys. Ther., 1967. 47, 114–117.
4) *KERKOUR K., MEIER J. L. et all.:* Isocinétique et renforcement musculaire. Rééducation 88. Expansion Scientifique Française. 257–262.
5) *GOBELET C., GREMION G.:* Mesures de la force musculaire isocinétique du quadriceps et des ischios-jambiers: aspects normaux et pathologiques. Isocinétisme et médecine de rééducation. 1991. Masson: Paris, 75–83.
6) *CAMPBELL D. E., GLENN W.:* Rehabilitation of knee flexor and knee extensor muscle strength in patients with ménisectomies ligamentous repair and chondromalacia. Phys. ther., 1982. 62, 10–15.
7) *KANNUS P.:* Ratio of hamstring to quadriceps femoris muscles strength in the anterior cruciate ligament insufficient knee. Int. J. Sports Med. 1988. 68, 961–965.
8) *KERKOUR K., BARTHE M. et all.:* Etude comparative de la force musculaire maximale isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou après ligamentoplastie. Rééducation 1986. Expansion Scientifique Française. 41–46.
9) *GOBELET C., MEIER J. L. et all.:* Mesures et entraînement isocinétiques. Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation, Masson, 1987. 253–261.
10) *ALEXANDER M. J.:* Peak torque values for antagonist muscle groups and concentric and eccentric contraction for élite sprinters. Arch. Phys. Med. Rehab. 1990. 71, 334–339.
11) *AAGAARD P., SIMONSEN E. B., TROLLE M.:* Specificity of training velocity on gains in isokinetic knee joint strength. Acta. Physiol. Scand. 1996. 156 (2),. 123–129.
12) *ZAKAS A., MANDROUKAS K. AGGELOPOULOU N.:* Peak torque of quadriceps and hamstring muscles in basketball and soccer players of different divisions. J. Sports Med. Phys. Fitness. 1995. 35 (3), 199–205.
13) *GRIMBY G.:* Isokinetic training. Int. J. Sports Med. 1982. 3, 61–64.
14) *SMITH M. J., MELTON P.:* Isokinetic versus isotonic variable resistance training. Am. J. Sports Med. 1981. 9, 275–279.
15) *KERKOUR K., BARTHE M. et all.:* Force musculaire maximale isocinétique des extenseurs et fléchisseurs sagittaux du genou. Ann. Kinésithér. 1987. 14, 281–283.
16) GOBELET C.: Force isocinétique de l'enfant à l'adulte. Actualités en rééducation fonctionnelle. 1985. Masson: Paris, 49–54.
17) *MOGNONI P., NARICI M., SIRTORI M.:* Isokinetic torques and kicking maximal ball velocity in young soccer players. J. of Sports Med. And Phys. Fit. 1994. 357–361.
18) *SIMONSEN EB., TROLLE M. et all.:* Specificity of training load on gains in isokinetic knee joint strength. Acta. Physiol. Scand. 1996. 156 (2), 129–131.
19) *CHIN M., LO Y., LI C.:* Physiological profiles of Hong Kong elite soccer players. British Journal of Sports Medecine. 1992. 262–266.
20) *PONZO F., LECLERC JL., RACHET O.:* La résistance en tubérosité tibiale antérieure: oui mais! Ann. Kinésithér. 1992. 19, 209–213.
21) *BEMBEN M., JOHNSON D.:* Reliability of the BIODEX B 2000 Isokinetic dynamometer and the evaluation of a sport specific determination for the angle of peak torque during knee extension. Isokinetic and exercise science. 1993. 164–168.
22) *THIGPEN LK., BLANKE D., LANG P.:* The reliability of two different Cybex isokinetic systems. J. Orth. Sports Phys. Ther. 1990. 12, 157–162.
23) *FRIED T., LLOYD G.:* An overview of common soccer injuries. Management and prevention. Sports Médecine. 1992. 269–275.
24) *LI G., CHEN Z., ZHANG W.:* Isokinetic strength and endurance of quadriceps and hamstring muscles in elite chinese athletes. Chinese Journal of Sports Medecine. 1988. 143–149.
25) *HAGEMAN P., GILLASPIE D., HILL L.:* Effects of speed and limb dominance on concentric and eccentric isokinetic testing of the knee. J. Ortho. Sports Phys. Ther. 1988. 10, 59–65.
26) *ROCHCONGAR P., MORVAN R., et all.:* Isokinetic investigation of knee extensors and knee flexors in young French soccer players. International Journal of Sports Medecine. 1988. 448–450.
27) *FOSSIER E.:* Méthodes d'évaluation isocinétique: principes. Isocinétisme et médecine de rééducation. Masson. 1991. 10–16.
28) *HANTEN WP., RAMBERG CL. et all.:* Effect of stabilisation on maximal isokinetic torque of the quadriceps femoris muscle during concentric and eccentric contractions. Phys. Ther. 1988. 68, 219–222.
29) *GOETHALS M., VOISIN P., HERLANT M.:* Flexion extension isocinétique du genou. Effet de l'activité controlatérale simultanée et asymétrique. Ann. Kinésithér. 1991. 18, 27–34.
30) *MILLER JP., CATLAW K., ANGELOPOULAS C.:* Effect of ankle position on knee flexor and extensor torque. Iso. Exer. Sci. 1996. 6, 153–155.
31) *KUES JM., ROTHSTEIN JM., LAMB RL.:* Obtaining reliable measurements of knee extensor torque produced during maximal voluntary contractions: an experimental investigation. Phys. Ther. 1992. 72, 492–501.
32) *POCHOLLE M., CODINE P.:* Etude isocinétique des muscles du genou chez des footballeurs de première division. Ann. Kinésithér. 1994. 21 (7), 373–377.
33) *CROISIER JL., LUXEN P., LHERMEROUT C., CRIELAARD JM.:* Evaluation isocinétique concentrique et excentrique du genou chez l'adulte. Actua. en rééducation fonct. 19° série. 1994. 1–8.
34) *KERKOUR K., MEIER JL.:* Plasties intra et extra – articulaire combinées. Ann. Kinésithér. 1987. 14, 465–468.
35) *HARTER RA., OSTERNING LR., STANDIFER LW.:* Isokinetic evaluation of quadriceps and hamstrings symetry following anterior cruciate ligament reconstruction. Arch. Phys. Med. Rehab. 1990. 71, 465–468.
36) *MORVAN R.:* Exploration isocinétique des extenseurs et fléchisseurs du genou de footballeurs français; premiers résultats. 1986. Thèse, doctorat en médecine, Rennes.
37) *OEBERG B., MOELLER M., GILLQUIST J., EKSTRAND J.:* Isokinetic torque levels for knee extensors and knee flexors in soccer players. International Journal of Sports Medecine. 1986. 50–53.
38) *DENOT-LEDUNOIS S., FOSSIER E.:* Le rapport ischios-jambiers / quadriceps en isocinétisme: concentrique ou excentrique? Sciences et Sports. 1994. 9, 161–163.
39) *POCHOLLE M., CODINE P.:* Le travail excentrique précoce (T.E.P.) après ligamentoplastie du L.C.A. Annales Kinésithér. 1995. 22, 311–316.
40) *IDO G., HEULEU JN. et all.:* Premier essai d'isocinétique en chaîne fermée fonctionnelle. Ann. Réadapt. Med. Phys. 1995. 38, 380.
41) *PUIG P., TROUVE P., MIDDLETON P.:* Le travail en chaîne cinétique fermée dans la rééducation des ligamentoplasties intra-articulaires du genou: intérêts – indications. Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation. 1994. Masson: Paris, 43–46.