

ISOCINÉTISME ET TRAUMATOLOGIE SPORTIVE

J.L. CROISIER (1), J.M. CRIELAARD (2)

RÉSUMÉ : L'étude de la force musculaire se justifie dans des contextes pathologiques variés s'accompagnant de modifications des performances. Une analyse critique précise l'insuffisance des méthodes d'évaluation classiques. L'isocinétisme, par la précision et la reproductibilité des mesures, constitue un progrès majeur pour l'exploration de lésions de l'appareil locomoteur. Les plasties de reconstruction du ligament croisé antérieur se caractérisent par la persistance au 12^{ème} mois postopératoire d'une insuffisance quadricipitale significative (déficit moyen du moment de force maximum atteignant 21 %). La technique chirurgicale conditionne la cinétique de récupération, plus lente dans le cadre du Kenneth Jones modifié (greffon prélevé au niveau du tendon rotulien). Les muscles ischio-jambiers, indispensables pour la stabilité dynamique rotatoire du genou, voient leurs performances concentriques moyennes normalisées au 6^{ème} mois postopératoire; les programmes rééducatifs devront régulièrement compenser les déficits préférentiels observés en mode excentrique. La pathologie musculaire bénéficie également de l'exploration : le caractère récidivant des déchirures des ischio-jambiers apparaît étroitement lié à la persistance de déséquilibres agonistes/antagonistes. L'usage rééducatif de l'isocinétisme concerne classiquement le renforcement musculaire, efficace par l'adaptation permanente de la résistance aux performances individuelles. Le traitement des tendinites chroniques par des protocoles excentriques constitue une approche originale. La dynamométrie isocinétique autorise la prise en charge longitudinale du patient et favorise l'actualisation des concepts empiriques de traitement. Le suivi de l'entraînement et l'exploration préventive de sports à risques lésionnels élevés justifient également l'évaluation.

EVALUATION DE LA FORCE MUSCULAIRE

La participation musculaire conditionne la qualité de stabilité articulaire ainsi que le niveau de performance dans de nombreuses disciplines sportives. L'évaluation de la fonction musculaire apparaît primordiale dans des contextes lésionnels variés : de nombreux traumatismes sportifs, la chirurgie de l'appareil locomoteur, les pathologies de surmenage s'accompagnent d'une réduction de la performance. Une mesure précise et reproductible de la force s'impose afin de quantifier d'éventuelles anomalies et d'orienter le traitement (1).

Le suivi de l'entraînement sportif et l'exploration préventive de sports à risque lésionnel élevé justifient également une évaluation musculaire. La surveillance des performances au cours de la revalidation permet d'apprécier les éventuels progrès et autorise une rééducation plus judicieuse. Une analyse critique (2) révèle

ISOKINETIC EXERCISE AND ASSESSMENT IN SPORT ACTIVITIES
SUMMARY : The assessment of human muscle strength is of considerable value in various pathological states with modifications of the performance level. The original concept of isokinetic dynamometry provides a precise and reliable quantification of strength. Identification of underlying deficits in bilateral and reciprocal muscle group relationships plays a great role in the treatment of anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction and muscle injuries. The value of this type of assessment for prevention in uninjured subjects practicing sports at risk is suggested. Rehabilitative use of isokinetic includes muscle strengthening and tendinitis treatment by means of eccentric exercises.

KEYWORDS : Isokinetic - ACL reconstruction - Muscle strain - Tendinitis

l'insuffisance des méthodes classiques de mesure en termes de validité, reproductibilité et sensibilité :

La mesure périmétrique demeure une appréciation grossière du volume musculaire; elle englobe les tissus cutanés, graisseux et osseux et ne permet pas la distinction des muscles agonistes et antagonistes. Par ailleurs, l'amyotrophie de la cuisse estimée par périmétrie n'apparaît pas corrélée au déficit réel de force du quadriceps (3). Après un entraînement, le développement musculaire apprécié par une périmétrie n'est pas lié au gain de performance (4), les adaptations neurologiques n'étant pas prises en considération;

L'évaluation manuelle proposée initialement par Lovett comporte 6 stades progressifs (5). La cotation, mieux adaptée aux déficits (neurologiques) importants, devient malaisée dès que l'on s'approche de la normalité. Le caractère subjectif de la mesure réduit son intérêt dans le cadre d'un suivi longitudinal. Les progrès liés au renforcement musculaire ne peuvent être quantifiés et la méthode n'apprécie pas un éventuel déséquilibre entre groupes d'actions antagonistes.

La mesure de force isométrique autorise l'établissement de différences bilatérales et d'un ratio agonistes/antagonistes. Cette technique présente cependant une spécificité médiocre pour l'évaluation de muscles dont la modalité principale de contraction est dynamique. Elle fournit une définition ponctuelle et restrictive de la relation tension - longueur du muscle.

L'évaluation isotonique assimile la force développée à la charge déplacée par le sujet. Cependant, la résistance ne correspond jamais à

(1) Chef de travaux, Chargé de cours adjoint, (2) Professeur, Chef de Service, Université de Liège, Service de Médecine de l'Appareil Locomoteur.

la force dynamique réellement maximale, la charge ne pouvant dépasser la force développée dans les positions angulaires défavorables. Le caractère constant de la résistance n'autorise pas l'adaptation à chaque condition pathologique. La fatigue inhérente aux conditions d'évaluation par essais successifs peut compromettre la validité de la mesure de force isotonique maximale.

Les techniques classiques d'évaluation de la fonction musculaire demeurent insuffisantes et suggèrent l'intérêt d'une méthode plus performante.

CONCEPT ISOCINÉTIQUE

Le concept isocinétique propose un mouvement analytique unidirectionnel, exécuté à une vitesse angulaire constante, imposée par l'expérimentateur. Ces caractéristiques résultent de l'intervention d'une résistance variable, asservie en permanence aux capacités d'effort du sujet (2). Le principe autorise, à l'inverse de l'exercice isotonique, le développement d'un moment de force maximum sur toute l'amplitude du mouvement. La technique reste utilisable lors de conditions pathologiques et peut s'adapter aux potentialités résiduelles du patient : atrophie musculaire ou conditions biomécaniques défavorables. L'évaluation simultanée des groupes agonistes et antagonistes (fléchisseurs et extenseurs du genou, par exemple) présente un intérêt supplémentaire. Les dynamomètres isocinétiques (fig. 1) permettent l'exploration des principales articulations des membres inférieurs et supérieurs. Les appareils récents proposent également, en complément à l'exercice concentrique classique, le mode de contraction excentrique : le dispositif joue alors un rôle moteur, imposant un mouvement auquel le patient doit résister. Cette évaluation excentrique

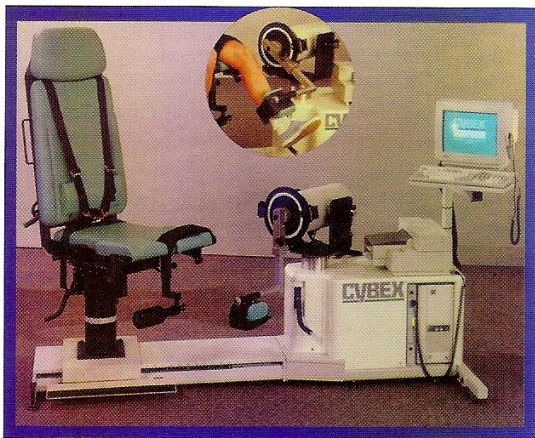


Fig. 1. Dynamomètre isocinétique de type Cybex Norm.

apparaît très discriminante pour l'exploration de certaines lésions de l'appareil locomoteur (6, 7).

Le facteur gravitationnel peut favoriser ou contrarier le mouvement isocinétique dans un plan vertical et modifier artificiellement les paramètres mesurés. Les appareils actuels compensent automatiquement l'action de la pesanteur sur l'amplitude totale du mouvement : pour chaque degré de déplacement, l'évaluation préalable de l'effet gravifique fournit une valeur ajoutée ou soustraite aux résultats enregistrés pendant l'épreuve. Le registre de vitesses angulaires se situe classiquement entre $0^{\circ}.s^{-1}$ et $500^{\circ}.s^{-1}$ en mode concentrique et de $0^{\circ}.s^{-1}$ à $300^{\circ}.s^{-1}$ en excentrique. Le secteur articulaire exploré est adapté individuellement et géré par des butées électroniques : les angles extrêmes d'extension et de flexion du genou, par exemple, sont mémorisés. Un système de sécurité informatique apprécie en permanence le déplacement du levier de mesure; dès que celui-ci se rapproche de l'angle limite, le système impose une réduction progressive de la vitesse jusqu'à l'arrêt et l'inversion du mouvement. Des butées mécaniques de sécurité complètent le système.

L'information isocinétique consiste en des courbes et des paramètres chiffrés (8, 9). L'analyse globale de la courbe (fig. 2) renseigne sur la qualité de la contraction musculaire pour les différentes positions articulaires successives; elle correspond, *in vivo*, à l'étude de la relation tension - longueur musculaire (10). Elle peut déceler d'éventuelles anomalies n'entraînant pas une modification systématique des paramètres chiffrés. Une collaboration de qualité se traduit, pour un registre adapté de répétitions, par une

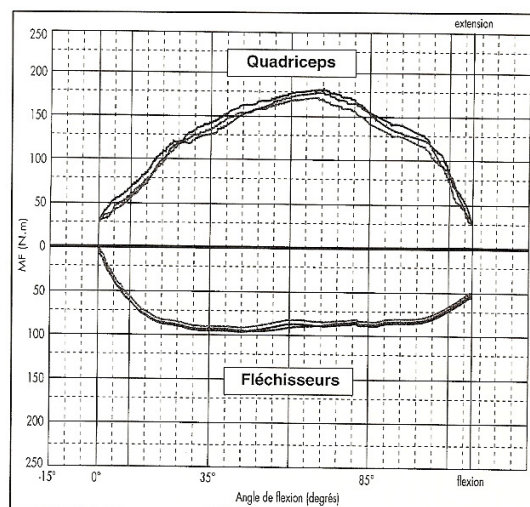


Fig. 2. Courbes isocinétiques au cours d'un effort concentrique ($60^{\circ}.s^{-1}$) en flexion - extension du genou

excellente superposition des courbes. Parallèlement à cette analyse, plusieurs paramètres chiffrés sont proposés :

- moment de force maximum (MFM), exprimé en newtonmètre (N.m.); il s'agit du moment de force le plus élevé développé au cours du mouvement, correspondant au sommet de la courbe;
- travail maximum (W); il correspond à l'intégration de la surface située sous la courbe et s'exprime en joule (J). Il pourrait s'avérer plus sensible que le MFM en cas d'anomalies survenant en dehors de la position d'efficacité musculaire maximale;
- puissance (P), exprimée en watt (W); ce paramètre intègre les valeurs de moment de force et de vitesse d'exécution du mouvement;
- angle d'efficacité maximale (AEM); il mesure la position articulaire pour laquelle apparaît le MFM et s'exprime, par exemple, en degrés de flexion du genou.

Le bilan isocinétique permet également :

- la comparaison bilatérale du MFM de muscles homologues et l'établissement d'une éventuelle asymétrie bilatérale pourcentuelle;
- l'analyse du rapport agonistes/antagonistes, calculé sur la base du MFM (exemple : Fléchisseurs/Quadriceps, FI/Q du genou). Un rapport mixte F_{ecc}/Q_{conc} (11), plus proche de la réalité fonctionnelle, complète les rapports classiques utilisant le même mode concentrique de contraction;
- la comparaison des différents paramètres exprimés en valeurs relatives (exemple : MFM par unité de poids corporel) avec les valeurs normales de populations de référence.

EVALUATION ISOCINÉTIQUE EN TRAUMATOLOGIE SPORTIVE

L'utilisation de protocoles isocinétiques constitue un progrès majeur dans le cadre de l'évaluation de diverses pathologies en médecine du sport. Des asymétries de force musculaire entre groupes homologues et des déséquilibres agonistes/antagonistes accompa-

gnent certaines lésions inhérentes à la pratique sportive. Leur détection constitue une étape préliminaire à l'établissement d'un traitement raisonné.

FRÉQUENCE ET SÉVÉRITÉ POTENTIELLE DES LÉSIONS DU LCA DU GENOU

Ces questions ont justifié plusieurs travaux (7, 12) consacrés à l'exploration et au suivi longitudinal de lésions opérées du LCA :

Au troisième mois postopératoire, le déficit quadricipital concentrique atteint en moyenne 34 % et fréquemment plus de 50 %, valeur deux à trois fois plus élevée que celle observée pour les muscles fléchisseurs. Cette réduction préférentielle des performances de l'appareil extenseur résulte :

- d'une atrophie préférentielle des fibres de type I, relativement plus nombreuses au niveau du quadriceps comparativement aux ischio-jambiers (13);
- d'une inhibition quadricipitale, en relation avec la douleur, la mise en tension de la plastie et la présence de mécano-récepteurs capsulo-ligamentaires épargnés (14);
- en postopératoire immédiat, le choix des techniques de renforcement quadricipital reste strictement limité, alors que les fléchisseurs bénéficient généralement d'une rééducation plus dynamique (à l'exception des plasties au droit interne et demi-tendineux, DIDT) (15).

Le choix de la technique chirurgicale, et plus particulièrement le site de prélèvement du transplant aux dépens de l'appareil extenseur du genou ou du hauban musculaire externe, conditionne l'importance du déficit isocinétique postopératoire. La récupération quantitative pour l'appareil extenseur aux 3^{ème} et 6^{ème} mois postopératoires (tableau I) s'avère plus rapide après l'intervention de Mac Intosh modifié (utilisant le tenseur du fascia lata) comparativement au Kenneth Jones modifié (prélèvement au niveau du tendon rotulien). Les patients bénéficient pourtant d'une rééducation quadricipitale identique, non isocinétique. Lors d'un prélèvement au

TABLEAU I. ETUDE COMPARATIVE POURCENTUELLE DU MFM CONCENTRIQUE À 60°.S⁻¹ (MOYENNES ± 1 SD) DU QUADRICEPS ET DES FLÉCHISSEURS APRÈS LIGAMENTOPLASTIE DU LCA (KENNETH JONES *VERSUS* MC INTOSH), À DIFFÉRENTES PÉRIODES POSTOPÉRATOIRES.

		Kenneth Jones		Mc Intosh		Comparaison des deux techniques
		Déficit %	Comparaison genou sain	Déficit %	Comparaison genou sain	
Quadriceps	3 ^{ème} mois	- 41 (13)	p < 0,001	- 27 (17)	p < 0,001	p < 0,001
	6 ^{ème} mois	- 28 (14)	p < 0,001	- 20 (10)	p < 0,001	p < 0,05
	12 ^{ème} mois	- 20 (13)	p < 0,001	- 22 (17)	p < 0,001	NS
Fléchisseurs	3 ^{ème} mois	- 17 (14)	p < 0,001	- 12 (11)	p < 0,001	NS
	6 ^{ème} mois	- 4 (9)	NS	- 3 (14)	NS	NS
	12 ^{ème} mois	- 1 (9)	NS	- 4 (15)	NS	NS

niveau du tendon rotulien, diverses plaintes lors des efforts d'extension sont rapportées : syndrome douloureux lors de la montée d'escaliers et de l'accroupissement, crépitations rétro-patellaires, tendinite rotulienne, anomalies radiographiques de la rotule et du tendon rotulien au scanner et en RMN (16, 17). Ces problèmes spécifiques ne sont pas rapportés après une ligamentoplastie de type Mac Intosh. Ainsi, au 6^{ème} mois postopératoire, une différence significative subsiste entre les deux types de ligamentoplastie, le déficit moyen du Kenneth Jones (28 % à 60° s⁻¹) demeurant plus important comparativement au Mac Intosh (20 % à la même vitesse). L'évaluation au 12^{ème} mois coïncide régulièrement avec la reprise des activités sportives : le déficit quadricepsal persistant à ce stade (21 % en moyenne) reste semblable pour les deux groupes chirurgicaux et résulte d'une diminution de la masse musculaire. L'hypothèse d'une inhibition quadricepsale d'origine centrale semble peu probable. A ce stade, le quadriceps conserve dans 74 % des cas une réduction de force isocinétique supérieure à 10 %, confirmant les travaux de Fossier et coll. (19) qui précisent que l'étendue de la prise du greffon au niveau de l'appareil extenseur n'influence pas le déficit. Initialement, nous pensions définir un déficit quadricepsal "tolérable", idéalement inférieur à 20 % lors de la reprise sportive. L'interruption prématurée de la kinésithérapie, et/ou la non-adaptation des techniques de renforcement, doit être évoquée, d'autant plus qu'une pratique sportive isolée ne compense pas totalement des déficits résiduels (20). Actuellement, le renforcement musculaire obtenu par l'isocinétisme autorise la stricte normalisation des performances quadricepsales dans 85 % des cas (résultats personnels non publiés).

En ce qui concerne les muscles fléchisseurs, le déficit concentrique moyen au 3^{ème} mois demeure significatif ($p < 0,001$), bien qu'inférieur à 20 %. Les fléchisseurs retrouvent au 6^{ème} mois postopératoire une fonction pratiquement normale; l'évaluation isocinétique décèle certains déficits ponctuels, nécessitant une rééducation individuelle. Aucune anomalie significative des fléchisseurs ne peut être tolérée 12 mois après l'intervention chirurgicale, en raison de leur rôle synergique dans le contrôle rotatoire dynamique et du tiroir antérieur (21). Une insuffisance serait susceptible de majorer l'instabilité subjective et l'intérêt d'une augmentation du rapport FI/Q lors de la reprise sportive est parfois évoqué. Le renforcement des ischio-jambiers évitera le travail exclusif en position de raccourcissement (piste interne) afin d'échapper à la survenue d'un

flexum, toujours préjudiciable, en particulier au niveau fémoro-patellaire (22).

Les muscles fléchisseurs du genou ont également bénéficié d'une évaluation excentrique (7). Notre analyse démontre un déficit plus élevé pour ce mode de contraction par rapport à l'évaluation concentrique, l'insuffisance se manifestant particulièrement au 3^{ème} mois postopératoire. Cette observation, relativement inquiétante en raison du rôle prépondérant de la musculature ischio-jambière pour la stabilité fémorale dynamique, pourrait s'expliquer par une rééducation insuffisante, négligeant l'exercice excentrique.

L'analyse de la courbe révèle des anomalies fréquentes qui concernent exclusivement le quadriceps au cours des épreuves exécutées à vitesse lente (correspondant aux moments de force et aux sollicitations les plus élevés) :

- un tracé irrégulier et saccadé s'observe au 3^{ème} mois postopératoire, dans le cadre d'une réduction majeure de la force isocinétique, s'accompagnant d'une coordination et d'un recrutement neuro-musculaire insuffisants (l'effort s'accompagne d'un tremblement localisé);
- l'accident transitoire survenant régulièrement entre 55° et 95° de flexion du genou s'expliquerait par une inhibition quadricepsale réflexe, relevant parfois d'une étiologie fémoro-patellaire dont la sollicitation augmente avec la flexion du genou (22).

Les conséquences thérapeutiques paraissent intéressantes lorsque l'accident transitoire s'accompagne d'un phénomène algique, précisant ainsi le secteur articulaire à solliciter avec précaution en rééducation. Par contre, l'analyse des courbes n'autorise pas l'établissement d'un diagnostic car l'association d'une anomalie spécifique de la courbe avec une lésion ligamentaire particulière du genou n'est jamais systématique (23); l'apparition occasionnelle d'accidents transitoires au niveau du genou sain controlatéral (4 % des cas) et la variabilité des anomalies lors d'épreuves isocinétiques ultérieures confirment cette observation.

La persistance prolongée de l'amyotrophie quadricepsale postopératoire soulève une question : l'état musculaire préopératoire peut-il influencer la récupération de la force isocinétique maximale ? Répondre à cette interrogation devrait préciser l'intérêt d'un renforcement musculaire préopératoire, régulièrement recommandé, mais sans réel fondement scientifique. Chez l'animal, un entraînement précédant la période d'immobilisation réduit l'atrophie musculaire (24). La population observée dans notre expérience présente une grande variabilité indivi-

duelle préopératoire de trophicité musculaire et constitue ainsi un échantillon de qualité (25). Nos observations à la vitesse élevée de $240^{\circ}.s^{-1}$ démontrent que les déficits quadricipitaux préopératoires *versus* les valeurs observées aux 3^{ème} et 6^{ème} mois postopératoires apparaissent liés et précisent l'intérêt d'une rééducation préventive. Par ailleurs, la relation établie entre les déficits des 3^{ème} et 6^{ème} mois postopératoires suggèrent qu'un déficit significatif au 3^{ème} mois retardera effectivement la récupération musculaire et confirme également l'intérêt d'une attitude rééducative précoce respectant l'intégrité de la plastie (26, 27).

PATHOLOGIE MUSCULAIRE

Cette dernière bénéficie particulièrement de l'exploration isocinétique. Les muscles ischio-jambiers apparaissent plus sollicités dans la pratique de disciplines spécifiques (football, sprint en athlétisme et sports de combat) où la contraction excentrique des fléchisseurs doit s'opposer au quadriceps et à l'inertie qui amènent le segment jambier vers l'avant. Certaines contraintes sont susceptibles de provoquer des lésions anatomiques, d'autant plus préoccupantes qu'elles sont fréquemment récidivantes (28, 29). L'étude isocinétique (6) de sportifs masculins de haut niveau ayant présenté une déchirure unilatérale des muscles ischio-jambiers, et consultant pour récurrence et/ou plaintes persistantes lors de leur pratique sportive, a démontré le rôle majeur des déséquilibres musculaires :

a) existence d'anomalies significatives de force maximale (en termes de différences bilatérales et de rapports agonistes/antagonistes) dans 70 % des cas; certains sujets présentent des déficits supérieurs à 50 % alors que de plus rares cas se montrent plus performants du côté lésé, témoignant d'une importante variabilité interindividuelle.

b) caractère discriminant des épreuves excentriques :

- déficit moyen de l'ordre de 10 % en mode concentrique et supérieur à 20 % en excentrique;

- rapport mixte ($F_{\text{exc}}/Q_{\text{conc}}$) significativement réduit, alors que les rapports concentriques classiques ne présentent pas d'anomalie systématique (fig. 3);

- l'examen concentrique isolé n'aurait révélé aucune anomalie dans 27 % de cas exclusivement déficitaires en excentrique.

c) une autre observation originale concerne la position articulaire d'efficacité maximale qui, en excentrique, devrait se situer dans une posi-

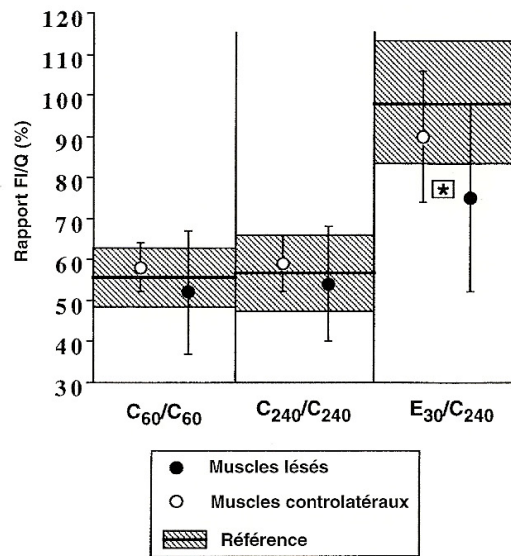


Fig. 3. Rapports FI/Q concentriques classiques ($60^{\circ}.s^{-1}$ et $240^{\circ}.s^{-1}$) et mixtes ($F_{\text{exc}}/Q_{\text{conc}}$) : étude comparative entre ischio-jambiers sains et lésés. Les valeurs (moyennes \pm 1 SD) caractéristiques d'une population normale de référence sont représentées.

tion proche de l'extension correspondant à l'allongement des ischio-jambiers (piste externe) : nos sujets ne peuvent développer une tension élevée dans cette situation d'étirement musculaire maximal. En effet :

- malgré leur indolence, les épreuves excentriques peuvent s'accompagner d'une inhibition réflexe limitant le recrutement optimal des unités motrices;

- une réduction de l'extensibilité musculaire (30) s'explique par la formation d'un tissu cicatriciel fibreux. L'immobilisation en position de raccourcissement favoriserait le développement du tissu collagène et la disparition de sarcomères (31);

- la contraction excentrique sollicite les structures élastiques (particulièrement en position d'allongement) dont les propriétés pourraient être modifiées par la présence de tissu conjonctif cicatriciel.

Ces résultats inquiétants confirment l'insuffisance de la rééducation dans sa phase terminale. Dans un travail complémentaire (32), nous avons démontré que la normalisation des performances isocinétiques maximales, après un renforcement musculaire individualisé (durée du traitement : 10 à 30 séances), autorisait la reprise des activités compétitives (suivi longitudinal de 12 mois post-traitement) :

- sans récurrence lésionnelle pour les muscles initialement traumatisés;

- avec une réduction très significative ($p < 0,001$) des plaintes subjectives douloureuses et d'inconfort (appréciées au moyen d'une échelle visuelle analogue) lors de la pratique.

RÉÉDUCATION ISOCINÉTIQUE

Le dynamomètre isocinétique permet le renforcement musculaire dans divers contextes amyotrophiques tels que les lésions ligamentaires et musculaires. L'adaptation permanente de la résistance, autorisant le développement d'un moment de force maximum sur l'amplitude complète du mouvement (fig. 4), rend la technique plus *efficace* que les seules méthodes isotoniques (33). L'asservissement de la charge imposée garantit des conditions de *sécurité* optimales. Cette qualité reste primordiale, particulièrement pour le mode excentrique où la machine impose le mouvement articulaire; grâce à un mécanisme complémentaire (seuil de pré-tension), le dispositif isocinétique s'arrête immédiatement, quelle que soit la position, lorsque le patient interrompt la contraction. Le renforcement isocinétique apparaît *spécifique* par l'individualisation des protocoles, établis sur base des anomalies objectivées lors de l'évaluation initiale (groupes musculaires concernés, mode de contraction concentrique et/ou excentrique, vitesses angulaires : les déficits s'observent parfois pour un seul registre de vitesses lentes ou rapides). Le système offre d'autres avantages :

- amplitude de mouvement strictement constante au cours des répétitions successives, et éventuellement adaptée à la pathologie [ex. : exclusion du secteur plus sollicitant des 30 à 45 premiers degrés de flexion du genou lors du renforcement quadricipital après lésion du LCA (15)];
- l'écran fournit une information visuelle qui renseigne le patient sur son niveau de performance et conditionne sa motivation;

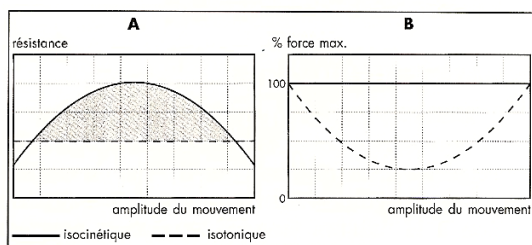


Fig. 4. Evolution de la résistance (A) et de l'intensité de la contraction (B) au cours du mouvement dans le cadre d'efforts isocinétiques et isotoniques

- présence d'un "limitateur de couple" qui prévient les contraintes excessives dans le cadre d'exercices sous-maximaux.

Le renforcement musculaire excentrique s'impose en cas de déficit pour les muscles dont le rôle est essentiellement frénateur (ischio-jambiers, rotateurs externes d'épaule, ...). Ce mode de contraction présente néanmoins des particularités :

- le risque de lésions instantanées (34) apparaît majoré en raison de tensions musculaires plus élevées qu'en mode concentrique (35). Ce contexte justifie un échauffement préalable de qualité;
- la survenue de douleurs musculaires intenses d'apparition retardée (delayed onset muscle soreness, DOMS) 24 à 48 heures après l'exercice, liée à des micro-lésions et à une réaction inflammatoire (36, 37). La disparition des sensations nociceptives est spontanée mais risque de retarder la rééducation et de causer des inhibitions ultérieures. Les adaptations liées à cet entraînement apparaissent rapidement (38) et trois à cinq séances d'exercices sous-maximaux d'intensité croissante (à partir de 50 % du maximum) évitent la survenue des DOMS (39);
- le transfert des gains de performance vers le mode concentrique, après un entraînement exclusivement excentrique, demeure très limité (40).

Les tendinites correspondent fréquemment à des lésions de surmenage où un déséquilibre apparaît entre la capacité d'adaptation du tendon et les contraintes qui lui sont appliquées. Le tendon, lors des successions de contractions excentriques et concentriques, peut présenter une altération dégénérative dans un contexte de micro-traumatismes répétés et d'inflammation. Les traitements classiques (AINS, ultrasons, éventuelles infiltrations de corticostéroïdes ...) associés au repos soulagent le patient mais s'avèrent souvent insuffisants lors de la reprise sportive (41), l'application de nouvelles contraintes provoquant la réapparition des symptômes douloureux. Afin de compléter ces traitements "passifs" n'agissant pas réellement sur la structure du tendon, un nouveau concept a été proposé par Stanish et coll. (42); considérant le caractère actif du tendon, l'application d'un entraînement excentrique progressif et contrôlé doit améliorer la qualité de résistance tensionnelle. Nous avons adapté le protocole au traitement des tendinites rotuliennes, achilléennes et épicondyliennes, en utilisant l'isocinétisme afin d'optimiser l'efficacité des exercices excentriques proposés (43-45). Les patients bénéficient d'une prise en charge standardisée consistant en 20 séances de rééducation à raison de 3 par semaine. Le traite-

ment consiste, outre l'application des techniques classiques, en programmes excentriques selon les critères suivants :

- au stade initial, l'exercice s'effectue à vitesse lente et charge faible (30 % de la force maximale);
- progressivement, la vitesse d'exécution du mouvement s'accroît (vitesse moyenne et ensuite élevée);
- le cycle de vitesses est ensuite répété avec une charge croissante (jusqu'à 80 % de la performance maximale).

Le mouvement s'effectue dans une amplitude adaptée individuellement et l'intensification des exercices reste subordonnée à l'indolence. Dans le cas contraire, le retour momentané aux modalités précédentes apparaît nécessaire. La représentation graphique instantanée des performances permet au patient d'adapter l'intensité de l'effort développé. Un questionnaire détermine les conséquences fonctionnelles de la tendinite et une échelle visuelle analogique (EVA) quantifie l'intensité des douleurs avant et en cours de traitement (douleurs extrêmes = 10; état non douloureux = 0). L'échographie renseigne sur la qualité du tendon avant et après traitement. Les résultats préliminaires (20 sujets) se révèlent très encourageants. La réduction des douleurs apparaît significative mais la cinétique de régression précise la nécessité d'un traitement prolongé. L'analyse du questionnaire fonctionnel montre la disparition des signes cliniques dans tous les cas; 16 patients sur 20 rapportent l'absence complète de douleur à la reprise des activités sportives ou professionnelles et les autres conservent une "gêne" lors des activités pathogéniques. L'étude échographique avant et après rééducation démontre une amélioration notable. Ces observations apparaissent éminemment favorables, si l'on tient compte du caractère chronique de la lésion et de l'échec des traitements antérieurs.

INFLUENCE DE PRATIQUES SPORTIVES ORIENTÉES

Le sport de haut niveau – par la pratique régulière de l'activité, la répétition de gestes stéréotypés et la spécificité de l'entraînement – occasionne des modifications régulières de force musculaire. Les adaptations concernent les muscles agonistes dont l'activité conditionne le niveau de performance, tandis que leurs antagonistes, moins sollicités, demeurent peu développés. Une participation unilatérale, telle que celle rencontrée dans les sports de raquette, risque également d'induire des asymétries bilatérales

entre groupes musculaires homologues. L'exploration isocinétique de l'épaule (46) du joueur de tennis confirmé, sans plainte spécifique au moment de l'évaluation, permet les observations suivantes :

- le membre non dominant du joueur de tennis se caractérise par des performances similaires à celles du sujet non entraîné;
- la pratique du tennis entraîne, pour le membre supérieur concerné, une augmentation marquée de force des muscles rotateurs internes (RI). La majoration de performances des rotateurs externes (RE) apparaît moins marquée et reste non significative lors des mouvements effectués en mode concentrique à vitesse élevée;
- l'amélioration préférentielle du MFM des rotateurs internes justifie, pour le membre dominant, une réduction significative du rapport RE/RI. Ce déséquilibre caractérise également d'autres sports privilégiant le mouvement d'armer et/ou la sollicitation répétitive des muscles rotateurs internes et adducteurs de l'épaule : water-polo, baseball, natation (47-49).

Le déséquilibre agonistes – antagonistes peut-il expliquer certaines pathologies de l'épaule ? Plusieurs auteurs insistent sur les modifications potentielles de la biomécanique et du contrôle dynamique du complexe de l'épaule (50, 51). Warner et coll. (52) soulignent l'insuffisance relative et systématique des muscles rotateurs externes comparativement aux rotateurs internes dans le cadre de l'"*Impingement Syndrome*". La prévention des déséquilibres musculaires représente ainsi une option pertinente. L'intégration d'exercices spécifiques de compensation destinés aux muscles antagonistes (rotateurs externes dans notre étude), ne devrait pas perturber la performance des groupes moteurs et propulseurs mais pourrait contribuer à réduire la fréquence lésionnelle de l'épaule.

Actuellement, les épreuves isocinétiques préventives, destinées à objectiver et, secondairement, corriger les anomalies, s'intègrent plus fréquemment aux tests réalisés en début de saison dans les sports à risque (53).

ANALYSE CRITIQUE (34)

L'exercice isocinétique demeure analytique et ne correspond donc pas à la réalité fonctionnelle de gestes sportifs complexes. Il s'agit de mouvements exécutés en "chaîne ouverte" (par opposition à la "chaîne fermée" lorsque le membre fonctionne en appui); ce type d'exercices, réputé plus sollicitant dans le cadre de lésions ligamentaires du pivot central du genou, demande l'adaptation des modalités d'application (ex. :

placement d'un contre-appui proximal plutôt que distal sur le segment jambier). Que l'application soit évaluative ou rééducative, elle demeure complémentaire aux concepts classiques; par ailleurs, le coût élevé du matériel et l'expérience nécessaire du praticien expliquent l'application parfois limitée de la technique.

CONCLUSIONS

Comparativement aux techniques classiques d'évaluation, l'isocinétisme autorise une mesure précise et reproductible de la force musculaire dynamique, et ce dans divers contextes pathologiques. La quantification d'asymétries et de déséquilibres musculaires permet l'individualisation du traitement et un suivi longitudinal spécifique, régulièrement adapté. Pour une lésion donnée, cette technique originale permet d'établir un profil musculaire éventuellement caractéristique. L'application rééducative apparaît judicieuse pour le renforcement musculaire et le traitement des tendinites. Il s'agit également d'un outil de réflexion : la remise en question de traitements parfois empiriques et l'analyse critique des techniques de rééducation représentent des perspectives encourageantes.

BIBLIOGRAPHIE

- Kannus P.— Isokinetic evaluation of muscular performance : implications for muscle testing and rehabilitation. *Int J Sports Med*, 1994, **15**, Suppl. 1, S11-S18.
- Croisier JL, Crielaard JM.— Méthodes d'exploration de la force musculaire: une analyse critique. *Ann Réadapt Méd Phys*, 1999, **42**, 311-322.
- Calmels P, Joubert P, Domenach M et al.— Déficit musculaire du quadriceps et des ischio-jambiers après fracture de jambe. *Ann Réadapt Méd Phys*, 1990, **33**, 411-419.
- Staron R, Malicky S, Leonardi M et al.— Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur J Appl Physiol*, 1989, **60**, 71-79.
- Durand J.— Bilan musculaire, in Grossiord A, Held JP Ed., *Médecine de rééducation*. Flammarion Médecine – Sciences, Paris, 1981.
- Croisier JL, Crielaard JM.— Hamstring muscle tear with recurrent complaints : an isokinetic profile. *Isokinetics Exerc Sci*, 2000, **8**, 175-180.
- Croisier JL, Huskin JP, Crielaard JM.— Isokinetic evaluation of ACL reconstruction. Surgical procedure influence and rehabilitation implications, in *IX^e Transactions of the European Orthopaedic Research Society (Bruxelles)*, 1999, 73.
- Croisier JL, Crielaard JM.— Exploration isocinétique: analyse des courbes. *Ann Réadapt Méd Phys*, 1999, **42**, 497-502.
- Croisier JL, Crielaard JM.— Exploration isocinétique: analyse des paramètres chiffrés. *Ann Réadapt Méd Phys*, 1999, **42**, 538-545.
- Croisier JL, Camus G, Ledent M et al.— Exploration isocinétique de la relation tension-longueur musculaire. *Arch Physiol Biochem*, 1998, **106B**, 128.
- Croisier JL, Crielaard JM.— Mise au point d'un rapport isocinétique fléchisseurs du genou/quadriceps original. Application à une pathologie musculaire. *J Traumatol Sport*, 1996, **13**, 115-119.
- Croisier JL, Delcour JP, Huskin JP, et al.— Evaluation isocinétique pré- et postopératoire des ligamentoplasties du genou, in *Actualités en Rééducation Fonctionnelle et Réadaptation*, 19^{ème} série, Masson, Paris, 1994, 8-14.
- Appell HJ.— Skeletal muscle atrophy during immobilization. *Int J Sports Med*, 1986, **7**, 1-5.
- Ekstrand J.— Reconstruction of the anterior cruciate ligament in athletes, using a fascia lata graft : A review with preliminary results of a new concept. *Int J Sports Med*, 1989, **10**, 225-232.
- Croisier JL, Forthomme B, Huskin JP, et al.— Lésions opérées du LCA : réflexions sur les principes de rééducation. *Méd Sport*, 2000, **29**, 30-36.
- Kleipool A, Van Loon T, Marti R.— Pain after use of the central third of the patellar tendon for cruciate ligament reconstruction. *Acta Orthop Scand*, 1994, **65**, 62-66.
- Shaffer B, Tibone J.— Patellar tendon length change after anterior cruciate ligament reconstruction using the midthird patellar tendon. *Am J Sports Med*, 1993, **21**, 449-454.
- Snyder-Mackler L, De Luca P, Williams P, et al.— Reflex inhibition of the quadriceps femoris muscle after injury or reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 1994, **76A**, 555-560.
- Fossier E, Christel P, Djian P, et al.— Principes et intérêt de l'évaluation isocinétique dans les ruptures du ligament croisé antérieur. *Rev Chir Orthop*, 1993, **79**, 615-624.
- Fossier E, Daniel F.— Renforcement musculaire isocinétique, in Heuleu JN, Simon L, *Muscle et rééducation*, Masson, Paris, 1988, 180-188.
- More R, Karras B, Neiman R et al.— Hamstrings - an anterior cruciate ligament protagonist. *Am J Sports Med*, 1993, **21**, 231-237.
- Sachs R, Daniel D, Lou Stone M et al.— Patellofemoral problems after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 1989, **17**, 760-765.
- Sapega A.— Current concepts review. Muscle performance evaluation in orthopaedic practice. *J Bone Joint Surg*, 1990, **72A**, 1562-1574.
- Appell HJ.— Morphology of immobilized skeletal muscle and the effects of a pre- and postimmobilization training program. *Int J Sports Med*, 1986, **7**, 6-12.
- Croisier JL, Delcour JP, Crielaard JM.— Ligamentoplasties du genou : l'état musculaire préopératoire conditionne-t-il le degré d'amyotrophie postopératoire ? *Ann Réadapt Méd Phys*, 1994, **37**, 463-468.
- Shelbourne K, Nitz P.— Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1992, **15**, 256-264.
- Glasgow S, Gabriel J, Sapega A, et al.— The effect of early versus late return to vigorous activities on the out-

- come of anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 1993, **21**, 243-248.
28. Taylor D, Dalton J, Seaber A, et al.— Experimental muscle strain injury. Early functional and structural deficits and the increased risk for reinjury. *Am J Sports Med*, 1993, **21**, 190-194.
 29. Worrell T.— Factors associated with hamstring injuries : An approach to treatment and preventative measures. *Sports Med*, 1994, **17**, 338-345.
 30. Croisier JL, Pirotin V, Crielaard JM.— Séquelles tardives de déchirures des muscles ischio-jambiers. Adaptation des programmes de rééducation in *Expériences en rééducation locomotrice*, Masson, Paris, 1992, 65-70.
 31. Kannus P, Jozsa L, Renström P, et al.— The effects of training, immobilization and remobilization on musculoskeletal tissue. Training and immobilization. *Scand J Med Sci Sports*, 1992, **2**, 100-118.
 32. Croisier JL, Forthomme B, Namurois M, et al.— *Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders* (soumis pour publication).
 33. Smith MJ, Melton P.— Isokinetic versus isotonic variable-resistance training. *Am J Sports Med*, 1981, **9**, 275-279.
 34. Croisier JL, Crielaard JM.— Analyse critique de l'utilisation d'un appareil isocinétique. *J Traumatol Sport*, 1995, **12**, 48-52.
 35. Croisier JL, Camus G, Ledent M, et al.— La relation force-vitesse étudiée en isocinétisme. *Arch Physiol Biochem*, 1998, **106B**, 70.
 36. Croisier JL, Camus G, Deby-Dupont G, et al.— Myocellular enzyme leakage, polymorphonuclear neutrophil activation and delayed onset muscle soreness induced by isokinetic eccentric exercise. *Arch Physiol Biochem*, 1996, **104**, 322-329.
 37. Croisier JL, Camus G, Venneman I, et al.— Effects of training on exercise - induced muscle damage and interleukin 6 production. *Muscle Nerve*, 1999, **22**, 208-212.
 38. Mair J, Mayr M, Müller E et al.— Rapid adaptation to eccentric exercise-induced muscle damage. *Int J Sports Med*, 1995, **16**, 352-356.
 39. Croisier JL, Camus G, Crielaard JM.— Interest of a specific training to reduce DOMS. *Isokinetics Exerc Sci*, 2000, **8**, 40.
 40. Croisier JL, Luxen P, Crielaard JM.— Etude comparative de renforcements musculaires isocinétiques concentriques et excentriques. *Kiné 2000*, 1995, **6**, 11.
 41. Almekinders LC, Almekinders SV.— Outcome in the treatment of chronic overuse sports injuries : a retrospective study. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1994, **19**, 157-161.
 42. Stanish WD, Rubinovich RM, Curwin S.— Eccentric exercise in chronic tendinitis. *Clin Orthop*, 1986, **208**, 65-68.
 43. Croisier JL, Forthomme B, Foidart-Dessalle M, et al.— Protocole isocinétique excentrique appliqué aux épicondylites : résultats préliminaires, in *Progrès en médecine physique et de réadaptation 3^{ème} série*. Masson, Paris, 1999, 201-206.
 44. Croisier JL, Godon B, Giordano F, et al.— Tendinites rotuliennes et achilléennes : intérêt des exercices isocinétiques excentriques, in *Progrès en médecine physique et de réadaptation 3^{ème} série*. Masson, Paris, 1999, 212-217.
 45. Forthomme B, Croisier JL, Godon B et al.— Exercices excentriques appliqués au traitement des tendinites, *Kiné 2000*, 2000, **11**, 1-2.
 46. Croisier JL, Lhermerout C, Mommer R et al.— Déséquilibres musculaires de l'épaule chez le joueur de tennis. Une étude isocinétique, in *Progrès en médecine physique et de réadaptation 2^{ème} série*. Masson, Paris, 1998, 27-32.
 47. Bak K, Magnusson P.— Shoulder strength and range of motion in symptomatic and pain-free elite swimmers. *Am J Sports Med*, 1997, **25**, 454-459.
 48. McMaster WC, Long SC, Caiozzo VJ.— Isokinetic torque imbalances in the rotator cuff of the elite water polo player. *Am J Sports Med*, 1991, **19**, 72-75.
 49. Mikesky AE, Edwards JE, Wigglesworth JK, et al.— Eccentric and concentric strength of the shoulder and arm musculature in collegiate baseball pitchers. *Am J Sports Med*, 1995, **23**, 638-642.
 50. Rupp S, Berninger K, Hopf T.— Shoulder problems in high level swimmers – impingement, anterior instability, muscular imbalance ? *Int J Sports Med*, 1995, **16**, 557-562.
 51. Beach ML, Whitney SL, Dickoff-Hoffman SA.— Relationship of shoulder flexibility, strength and endurance to shoulder pain in competitive swimmers. *J Orthop Sports Phys Ther*, 1992, **16**, 262-268.
 52. Warner JJP, Micheli LJ, Arslanian MS, et al.— Patterns of flexibility, laxity and strength in normal shoulders and shoulders with instability and impingement. *Am J Sports Med*, 1990, **18**, 366-375.
 53. Orchard J, Marsden J, Lord S et al.— Preseason hamstring muscle weakness associated with hamstring muscle injury in Australian footballers. *Am J Sports Med*, 1997, **25**, 81-85.

Les demandes de tirés à part sont à adresser à M. J.L. Croisier, ISEPK, B21, Université de Liège, Sart Tilman, 4000 Liège.