

Utilisation des appareils isocinétiques comme outil d'évaluation, de rééducation et d'entraînement des sportifs

Dr : IKIOUANE Mourad

Dr : BELGHOUL Fethi

Université de Bejaia

Université de Chlef

Introduction

L'évaluation des sportifs est réalisée dès le plus jeune âge lors des stages de détection par des tests physiologiques et souvent médicalisés. Plusieurs investigations sont possibles en fonction des filières énergétiques. Ces différentes évaluations ont pour but de suivre l'évolution des sportifs tout au long de leurs carrières et éventuellement de définir leur niveau sportif (Dauty et Portion Josse. 2003).

Pouvoir tester la performance musculaire des sujets sportifs ou sédentaires dans tous ses aspects, dans des conditions de reproductibilité et de protection articulaire à nulle autre pareilles ; pouvoir aussi entraîner et rééduquer les muscles ; pouvoir tester la sincérité de l'effort. Voilà les grands principes de ce que nous apporte, fondamentalement, l'isocinétisme.

L'isocinétisme est donc une véritable révolution en évaluation, entraînement, et rééducation dans les pays développés. Mais une révolution silencieuse et lente... Le cout des appareillages est, entre autres facteurs, un frein à une expansion qui, pour autant, si elle n'est pas rapide, est néanmoins inéluctablement, régulière, irréversible.

1- La contraction musculaire isocinétique

La contraction musculaire isocinétique est une contraction anisométrique effectuée à vitesse constante. La résistance opposée par le dynamomètre répond au principe d'asservissement. En isocinétique, ce principe est respecté, le dynamomètre opposant une réaction égale à la force développée par le sujet, mais en déplacement à vitesse préréglée. Lors de la réalisation du mouvement, le segment du membre passe de la vitesse 0° par seconde à la vitesse imposée par une phase d'accélération non isocinétique, puis reste à cette vitesse pendant un temps donnée (phase isocinétique proprement dite), puis amorce une phase de décélération non isocinétique pour atteindre la vitesse 0°/seconde avant l'inversement du mouvement. La phase d'isocinétisme vrai varie selon la vitesse du mouvement, d'autant moins importante que la vitesse est élevée. La force développée par le sujet varie en fonction de plusieurs paramètres notamment en fonction de la vitesse et du mode de contraction, concentrique ou excentrique.

Le mode concentrique correspond à un mouvement durant lequel les points d'insertions musculaires se rapprochent alors qu'en excentrique ceux-ci s'éloignent. La puissance développée, à vitesse égale, est plus importante en mode excentrique qu'en concentrique. En concentrique, la force développée est inversement proportionnelle à la vitesse. A l'inverse, en excentrique, la force développée croît avec la vitesse.

2- Intérêt de l'évaluation isocinétiques.

De nombreuses études ont été réalisées pour évaluer la force musculaire isocinétique en fonction de pratiques sportives, de techniques d'entraînement ou de musculation, de techniques thérapeutiques, ou de modes de prises en charge rééducatives. Ceci est à l'origine du développement de différents appareils et de nombreuses études sur la validité, fiabilité et reproductibilité des mesures obtenues lors des tests isocinétiques pour les articulations à différentes vitesses angulaires, selon différentes modalités et populations.

Ils ont permis de déterminer les principales sources de variabilité, liées aux variations biologiques pour une part et aux erreurs d'expérimentation pour une autre part. La mesure de la force musculaire constitue, pour le physiologiste, un élément important d'appréciation mais la validité physiologique soit individuelle qui la caractérise rend difficile son appréciation et les moyens de comparaison inter-individus.

3- L'intérêt d'utiliser différentes vitesses angulaires isocinétiques.

L'intérêt d'évaluer et/ou de développer la force musculaire à différentes vitesses trouve sa justification dans l'étude du mouvement. Ainsi, pour l'épaule, lors d'un mouvement de smash ou de lancer, la vitesse angulaire peut atteindre plus de 5000°/seconde. Pour le genou, lors de la marche, la vitesse angulaire est d'environ 230°/seconde et croît lors de la course à plus de 1100°/seconde (Ponchelle.M. 1998).

La réalisation possible par les dynamomètres isocinétiques existants de mouvements jusqu'à 450°/seconde permet de se rapprocher des conditions de fonctionnement physiologiques, tant en évaluation qu'en renforcement. D'autre part, plusieurs travaux ont montré une spécificité du gain de force pour la vitesse exercée. L'entraînement à différentes vitesses lentes et rapides permettrait ainsi de mieux répondre aux exigences musculaires imposées par l'exercice sportif.

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

4- Utilisation des appareils isocinétiques comme moyen d'évaluation.

Les tests isocinétiques permettent d'évaluer, à un moment donné et pour un sujet donné, ses capacités à développer de la force. Les tests isocinétiques sont corrélés de manière significative avec les tests conventionnels d'évaluation fonctionnelle musculaire. Le degré de corrélation est d'autant plus élevé que le sujet testé est entraîné.

Entant donné qu'ils n'évaluent ni la stabilité articulaire, ni la fonctionnalité, les appareils d'isocinétisme permettent de compléter une évaluation clinique pour évaluer un déficit musculaire.

Les paramètres mesurés par isocinétisme ont une productibilité satisfaisante si les tests sont réalisés pour un même et sur le même appareil et par un et même examinateur expérimenté. Le choix du ou des paramètres discriminants n'est clairement définis et est variable d'une étude à l'autre. Sur l'ensemble des études analysées, le moment maximum semble être le paramètre pour lequel la reproductibilité est la meilleure. En matière de diagnostic, l'isocinétisme n'a pas fait ses preuves (Croisier J.L. 2001). Cependant l'observation d'une modification de la courbe consécutive à un phénomène douloureux permet de guider la rééducation.

La question de définition de normes se pose. Pour un sujet donné faut-il comparer le membre sain au membre lésé, en particulier en ce qui concerne les ratios agonistes/antagonistes, ou le comparer à des normes établies sur une population saine ? La définition des normes est difficile à mettre en œuvre, car cela implique l'étude des différents types de populations en fonction des différentes conditions de test.

5- Appareils isocinétiques et études de la force chez le sportif d'élite.

La force musculaire des quadriceps et ischio-jambiers a été largement étudiée depuis quelques années maintenant grâce à l'avènement des appareils de mesure isocinétique (Le Gall et coll.1999). Ces travaux reposent sur l'hypothèse que le sprint et le saut sont à la force externe développée par les membres inférieurs au niveau des extenseurs et fléchisseurs du genou. Pourtant, ce lien de causalité est source de controverse. Plusieurs auteurs rapportent une importante corrélation entre le pic de force et différents sauts chez des individus sportifs (Dauty et coll. 2001). Des modélisations du sprint à partir des paramètres de force sont proposées chez les sprinters, rugbymans et sportifs de compétition (Dowson et coll.1998). A distance d'une lésion du genou (rupture du ligament croisé), Petching et coll.1998 rapportent une bonne corrélation entre la force isométrique (des extenseurs et des fléchisseurs) du genou et le saut vertical.

L'étude de la force développée par un muscle ou un groupe musculaire déterminé est utile à l'entraîneur et au sportif dans le cadre de l'analyse mécanique d'un acte sportif donné. Pour Harichaux et Medeli 2002, ces mesures représentent aussi bien une phase d'entraînement qu'une possibilité d'appréciation de l'aptitude à exercer un acte sportif donné.

Les travaux utilisant les appareils isocinétiques sont orientés vers trois grands axes : tout d'abord, l'étude des différentes populations selon le sexe, l'âge et les activités sportives (Gobelet 1991, Parker 1986, Zakas 1995, Oberg 1986), ensuite la recherche d'anomalies en relation avec certaines pathologies (Calmels 1990, Sadourin 1991) et, enfin, la recherche de protocoles de rééducation, les pathologies souvent étudiées étant certainement le syndrome rotulien et le genou ligamentaire avant et après plastie (Pochelle 1991 et 1994).

Selon Le Gall et coll.1999, la puissance et l'explosion musculaire des quadriceps apparaissent très bien corrélées avec le niveau de compétition, d'où l'intérêt d'un renforcement musculaire spécifique des quadriceps pour améliorer ses propres performances. Selon Dauty et coll. 2003, il existe des corrélations significatives entre le sprint sur dix mètres départ arrêté et la force isocinétique des extenseurs rapportée au poids corporel à la vitesse de 180°/sec. Augustsson 1998, décrit une Corrélation significative entre le sprint sur dix mètres départ arrêté et la force isocinétique des extenseurs rapportée au poids corporel à la vitesse de 180°/sec. Augustsson 1998, décrit une Corrélation significative modérée entre la détente verticale et le pic de force des extenseurs à 60°/sec ($r=0.570$), Bosco et coll. 1987 trouvent une forte corrélation entre le CMJ et le pic de force concentrique des quadriceps à 180 et 240°/sec ($r=0.740$). Lessau et coll. 1995 décrivent une corrélation plus forte ($r=0.809$) si la composante élastique musculaire n'est pas mise en jeu à partir du squat jump.

Cependant, chez la footballeuse, Ostenberg n'a pas mis en évidence de corrélation entre la force isométrique des muscles fléchisseurs et extenseurs du genou et le vertical jump. De même, Cometti 2002 n'a pas rapporté de relation significative entre les sprints sur 10 et 30 m et la force isométrique des extenseurs et fléchisseurs du genou. Cependant, dans une autre nature d'études isocinétiques, Amato rapporte l'influence de l'âge et l'activité sportive pratiquée sur le profil isocinétique des individus.

Dans une étude longitudinale au centre technique national de Clairefontaine, Le Gall 1999 rapporte l'évolution de la force musculaire chez les jeunes footballeurs de 13-18 ans. Selon l'auteur, les quadriceps et les ischio-jambiers ont une évolution sensiblement différente, les gains de force des fléchisseurs du genou sont importants jusqu'à 16 ans de l'ordre de 60 à 70% selon les paramètres mesurés (Pic de force à 60°/sec de 107 Nm à 13 ans et 6 mois à 170 Nm à 16 ans). Cette évolution du gain régresse considérablement pour les fléchisseurs. Les extenseurs atteignent leurs valeurs maximales vers l'âge de 20 ans (Pic de force 60°/sec variant de 161 Nm à 13.6 ± 0.16 à 267 Nm à 20.10 ± 0.41 ans).

6- Utilisation des appareils isocinétiques comme outil de rééducation.

L'isocinétisme est une technique qui ne substitue pas aux autres techniques de rééducation conventionnelle mais qui constitue un moyen complémentaire parmi l'ensemble des techniques de rééducation disponibles. Cette rééducation isocinétique s'inscrit dans un programme d'amélioration des qualités motrices. Il existe une forte émulation par le biais du rétrocontrôle visuel permanent qui incite le patient à se dépasser.

Dans les études publiées et analysées dans le rapport du service évaluation des technologies (2001), les critères de jugement de l'efficacité de la rééducation isocinétique sont variables d'une étude à l'autre. Ils incluent l'étude des paramètres isocinétiques, du retentissement fonctionnel, de la diminution de la douleur, ou utilisent des techniques manuelles d'évaluation de la force musculaire.

L'intérêt à long terme de l'isocinétisme pour le patient se pose. Aucune étude d'acceptabilité de l'isocinétisme et /ou d'amélioration de la qualité de vie n'a été retrouvée dans la littérature. Des éléments sur le lien entre les mesures

isocinétiques et la symptomatologie ressentie par le patient sont toutefois disponibles. En revanche, le lien entre les résultats des tests et la fonctionnalité articulaire n'a jamais été fonctionnellement établi.

La question de la définition des objectifs de cette rééducation se pose donc. L'objectif est-il le retour à un profil identique à celui de sujets sains de référence, ou faut-il viser la restauration des performances musculaires antérieures ? Faut-il privilégier la récupération d'un bon équilibre agoniste/antagoniste associé à un déficit éventuel ou au contraire la récupération de la force musculaire résiduel acceptable après rééducation est nécessaire. La multifonctionnalité de l'instrument permet une adaptation à différentes lésions.

7- Applications pratiques en rééducation du rapport agoniste/antagoniste.

La prise en considération du rapport agoniste/antagoniste permet de : 1- constituer un indicateur du couple musculaire agoniste/antagoniste d'une articulation, en se rappelant qu'il semble spécifique d'un individu et d'une articulation ; 2- établir un indice de l'activité dynamique musculaire ; il offre, selon son évolution à différentes vitesses du mouvement, la possibilité de mettre en évidence le caractère plus statique ou plus explosif d'un des groupes musculaires, et permet par là de définir une prépondérance structurelle histologique en fibres lentes et en fibres rapides ; 3- représenter, au moins en ce qui concerne le membre inférieur, une référence individuelle. En comparaison avec le membre controlatéral sain pour la déterminer, il constitue une valeur mesurable qui peut servir d'objectif et établir un programme de rééducation (Calmels. P.1998).

Il semble que la mesure du rapport agoniste/antagoniste est d'un grand intérêt dans l'évaluation fonctionnelle d'une articulation. Cet indice peut être un bon indicateur de déséquilibre des mécanismes articulaires et permettre une approche physiopathologique de certaines affections ostéo-articulaires. C'est aussi un moyen d'analyse de certaines symptomatologies séquellaires post-traumatiques ou post-opératoires utile en rééducation.

Mais l'analyse des données de la littérature montre bien la nécessité de préciser certains paramètres, et de même la définition de la valeur du rapport agoniste/antagoniste considéré, à savoir le rapport du couple de force maximum ou du travail total, le rapport en même mode concentrique ou excentrique pour les deux groupes musculaires ou en mode concentrique pour l'un et excentrique pour l'autre.

8- Le Cybex Norm II, un outil isocinétique performant.

8-1- Caractéristiques techniques

Les tests dynamiques et isométriques effectués avec les footballeuses ont été réalisés à l'aide d'un ergomètre isocinétique Cybex Norm II. L'ergomètre permet une évaluation fonctionnelle significative car il respecte au plus près la physiologie du mouvement. Il offre la possibilité d'un travail musculaire maximum sous toutes les amplitudes, il peut se faire à toutes les vitesses, et permet d'avoir des données de : force, puissance, endurance.

Le Cybex permet une évaluation précise, reproductible, comparative. Cependant il présente quelques inconvénients car comme tout équipement spécifique, il nécessite un personnel averti. De même, celui-ci étant modulable, et il est nécessaire de le régler à chaque utilisation en fonction du patient. En travail excentrique à des niveaux de sollicitations importants peut provoquer des douleurs musculaires retardées, c'est à dire des courbatures chez des populations moins entraînées.

L'ergomètre doit permettre la genèse de mouvements mécaniquement contrôlés, la mesure des paramètres mécaniques du geste et la reproductibilité des épreuves. Cet appareil est constitué de trois éléments : moteur, une table (chaise réglable) et un bras de levier. Le moteur génère des déplacements angulaires d'un segment corporel donné et une chaîne de capteur permet son asservissement. La table ou la chaise réglable assure le support, la mise en position ainsi que la contention du sujet. Enfin, le bras de levier réalise l'interface sujet/machine en rendant le membre du sujet solidaire du moteur. L'ensemble est piloté par un ordinateur de type PC compatible IBM. Son utilisation permet des positionnements anatomiques corrects et de bonne stabilisation pour tester la musculation autour de l'articulation du genou.

L'évaluation initiale permet d'effectuer les modifications nécessaires du programme et de la configuration de l'ensemble des éléments de l'ergomètre pour apporter toute la sécurité nécessaire aux sujets avant tous les tests dynamiques et isométriques.

8-2- Principes de fonctionnement

Le fonctionnement des appareils d'isocinétisme repose sur 2 grands principes :

- La maîtrise de la vitesse : on impose une vitesse constante au mouvement du segment de membre, au lieu de lui imposer une résistance fixe.
- L'asservissement de la résistance : la résistance varie et s'auto adapte en tout points du mouvement pour être égale à la force développée par le muscle, lorsque la vitesse présélectionnée est atteinte.

Les appareils d'isocinétisme permettent de travailler selon deux modes : 1- le mode concentrique ; au cours duquel le moment de force varie avec l'angle de l'articulation. Il n'y a pas de variation de la charge en fonction du déplacement et on ne fait travailler qu'un groupe musculaire à la fois. 2- le mode excentrique ; au cours duquel la force augmente avec l'éirement du complexe tendino-musculaire pour atteindre son maximum près de la position extrême rendue possible par la machine.

Cette description technique ne concerne que les appareils rotatoires, appareils utilisés le plus en France.

8-3- Descriptif général des appareils isocinétiques.

Les appareils d'isocinétisme peuvent être schématiquement décrits par 3 modules qui sont le dynamomètre, les accessoires et le système informatique (logiciel).

Le dynamomètre

Le dynamomètre assure la constance de la vitesse (isocinétisme) présélectionnée. Il est constitué d'un servomoteur. La plupart des dynamomètres sont conçus pour permettre la réalisation d'un mouvement articulaire autour d'un axe, aligné sur l'axe de rotation. A l'inverse certains dynamomètres sont conçus pour enregistrer un mouvement linéaire (par un système de filin relié au moteur du dynamomètre et sur lequel le sujet tire).

Un goniomètre électrique est relié au dynamomètre afin de calculer pendant l'exercice l'angle défini par l'axe du mouvement (axe de l'articulation) et axe du dynamomètre.

Les accessoires

Certains accessoires sont adjoints au dynamomètre. Ils permettent d'optimiser la reproductibilité des conditions des tests en cas de répétition de celui-ci. Des protocoles de positionnement et de sanglage du sujet font partie des recommandations du fournisseur. Le sanglage du sujet permet de maintenir la position correcte durant tout le déroulement du test. Ceci permet d'éviter le désalignement des axes, de limiter les compensations par d'autres groupes musculaires que ceux testés et d'annihiler les degrés de liberté des autres articulations et des mouvements parasites.

Un certain nombre de paramètres peuvent être enregistrés et reproduits avec précision afin que les conditions de test pour un même sujet soient toujours identiques. Ce sont : la profondeur du siège, l'inclinaison du dossier, la position du siège par rapport à l'axe du dynamomètre, la longueur du bras de levier, la position des butées de limitations de l'amplitude articulaire.

Lorsque le sujet est correctement positionné, il faut ensuite procéder à l'alignement de l'axe de rotation articulaire avec l'axe de rotation du dynamomètre. En effet, une bonne concordance entre ces deux axes est indispensable pour que le moment de force mesuré par le dynamomètre soit proportionnel à la force du muscle. Mécaniquement parlant, cela se traduit par une grande mobilité du positionnement du dynamomètre qui peut ainsi s'adapter à l'articulation étudiée.

Le système informatique (le logiciel).

Le système informatique sert à l'enregistrement, au stockage et au traitement des données recueillies. Il permet de d'assurer la sécurité du sujet durant le test puisque les programmes prévoient d'interrompre l'exercice en cours en cas d'incident. Enfin, il permet de stocker des informations relatives aux opérations de maintenance.

Le système informatique permet aussi de prendre en compte et de corriger les effets de pesanteur. Depuis le début des années 80, un calculateur adjoint à l'appareil corrige la mesure globale de l'effet lié à la masse musculaire associée à celui lié à la masse du bras de levier de la machine. Cette correction se fait par addition pour les groupes musculaires antigravitaires et par soustraction pour les groupes musculaires gravidiques.

8-4- Paramètres de mesures des appareils d'isocinétisme.

L'appareil d'isocinétisme ne mesure pas la force mais le couple de force créé par cette force, et son bras de levier au niveau de l'axe du dynamomètre. Pour les appareils à mouvement rotatoire, la vitesse est définie par rapport à l'angle de segment de membre, ou vitesse angulaire, et s'exprime en degré par seconde ($^{\circ}/s$). Pour les appareils à mouvement linéaire, la vitesse s'exprime en centimètre par seconde (cm/s). Sur certains appareils, un paramètre d'amortissement de la courbe peut être programmé.

En effet, lorsque le sujet atteint la vitesse présélectionnée, le dynamomètre devient actif afin que cette vitesse ne soit pas dépassée. Cela crée alors un pic sur la courbe du moment maximum. Les mesures effectuées sont de ce fait moins précises et ne sont comparables avec d'autres tracés qu'en prenant garde au décalage temporel occasionné. Les paramètres mesurés sont d'ordre graphique et quantitatif.

Les paramètres graphiques.

Il s'agit de l'enregistrement de la courbe des moments de forces, construite à partir des deux paramètres suivants : en ordonnée le couple de force et en abscisse la position angulaire. Il existe un temps d'accélération en début de mouvement et de décélération en fin de mouvement qui ne correspond pas à un travail isocinétique. De ce fait, le début et la fin de la courbe ne sont pas interprétables. Par ailleurs, la forme de la courbe varie en fonction de l'articulation testée, de la marque de l'appareil et du logiciel, mais aussi de la vitesse du mouvement et du mode évalué.

➤ **Les paramètres quantitatifs.**

Il s'agit des valeurs chiffrées de différents paramètres enregistrés lors de la réalisation du test. Cinq paramètres sont principalement utilisés.

- **Le moment de force maximale** : Encore appelé couple de force ou pic de couple ou moment maximum, exprimé en newton-mètre, il correspond au moment de couple le plus élevé développé au cours du mouvement.
- **Le travail maximal** : Il correspond à l'intégration de la surface située sous la courbe des moments de force, et s'exprime en joule (J). Ce paramètre est dépendant de l'amplitude globale du mouvement.
- **La puissance maximale** : Exprimée en watt (W), elle correspond au travail effectué par unité de temps. Elle se calcule en multipliant le moment de force par la vitesse angulaire.
- **L'angle d'efficacité maximale** : Il mesure la position angulaire correspondant au moment de force maximum et s'exprime en degré.
- **L'angle d'efficacité maximale** : Exprimé en pourcentage, il est calculé à partir des moments de force maximum développés lors d'un même mode de contraction et pour une vitesse angulaire identique.

8-5- Sécurité des appareils d'isocinétisme.

Les accessoires des appareils d'isocinétisme sont équipés des repères visuels évitant les erreurs de montage et les fausses manipulations, ainsi que de butées mécaniques qui empêchent l'accessoire d'atteindre des amplitudes inacceptables pour l'articulation étudiée, et permettent de tenir compte des limitations d'amplitude articulaire propres à chaque patient.

Un ou deux dispositifs d'arrêt d'urgence existent, une poire disposée dans la main du sujet et un bouton sur le dynamomètre. Ceux-ci donnent la possibilité d'arrêter immédiatement la rotation de l'axe du dynamomètre quel que soit le mode de travail en cours. D'autre part, le système est équipé en interne d'un circuit logique qui contrôle en permanence l'état du système à tous les niveaux (électrique, mécanique, électronique, informatique ou en cas de dérive par rapport aux limites fixées) et qui stoppe la rotation de l'axe du dynamomètre au moindre problème détecté.

Enfin, à chaque démarrage de l'appareil, le contrôleur doit effectuer un autotest suivi d'une auto-calibration du dynamomètre et de ses capteurs. Si une quelconque défaillance est constatée, le système se bloque et ne peut être utilisé.

8-6- Domaines d'applications du Cybex Norm II

- L'appréciation, l'évaluation et l'entraînement de l'aptitude physique.
- L'appréciation de la force maximale volontaire qui permet l'aide au diagnostique préopératoire et postopératoire, expertise, évaluation de déficits d'incapacités.
- Le suivi et la validation de protocoles de rééducation des membres lèses et l'objectivisation des résultats.

8-7- La configuration et réglage du Cybex Norm II

Avant le début du test, il faut procéder par une mise à zéro de l'appareil puis calibrer le moteur, après quoi il faut déterminer le type de test, puis faire rentrer l'identité du sujet, sa date de naissance, son poids et sa taille.

La configuration de l'ergomètre isocinétique adoptée pour les tests dynamiques et isométriques est la suivante : le siège inclinable était à une échelle de rotation de 40° par rapport à la position à l'orientation de la table (vue de haut) et en position basse par rapport à l'horizontale vue de profil (haute pour les tests isométriques). Le dos du siège était à une inclinaison de 85° par rapport à la verticale, la rotation avant-arrière à 15°.

Le stabilisateur du membre controlatéral était installé dans le tube récepteur du siège afin d'immobiliser la jambe droite. Le dynamomètre (moteur) était à une échelle d'inclinaison de 0° par rapport à l'axe horizontal (vue de profil), avec une hauteur graduée à 8 cm et une position de rotation de 40° par rapport à l'axe de table (vue de haut). A partir de ce moment, le sujet pourrait être installé, et il faut procéder à la contention du sujet puis au réglage du bras de levier.

8-8- Mise en place du sujet

Le Cybex Norm II demande une attention particulière au positionnement du sujet. La configuration de l'ergomètre était nécessaire avant la réalisation du test dynamique. Le réglage des différents éléments du siège de l'ergomètre était effectué, avec le positionnement de la chaise et du dynamomètre, en fonction des valeurs angulaires. Le couple de force généré par le sujet était visualisé sur l'écran de l'ergomètre. Pour cela un fichier de travail était ouvert pour chaque sujet afin d'y saisir les données anthropométriques et de sauvegarder les données du test. On procédait alors à l'installation du sujet sur le siège.

Le sujet était assis avec une inclinaison de 15° à 20° du tronc par rapport à la verticale. La contention du sujet était faite de façon à ce que la position reste identique pendant tout le test, le tronc étant maintenu par un harnais et la cuisse par une ceinture à velcro. Le sujet peut se maintenir grâce aux poignées situées sur chaque côté. La chaise au dossier vertical réglable est placée de façon à ce que le centre articulaire soit en coïncidence avec l'axe du moteur et de sorte que la zone poplitée soit en contact avec la chaise quand le sujet est plaqué au fond de cette chaise. Pour régler le bras de levier, le contre appui résistif était placé sur le segment jambier à proximité de l'articulation de la cheville (au niveau de la tubérosité antérieure du tibia) ou plus à distance en sus malléolaire.

Le sujet réalisait une extension maximale que maintenait quelques secondes, ce qui nous permettait de valider le zéro anatomique (ZA). Afin de définir l'espace angulaire de travail, ainsi que les limites angulaires pour l'extension et la flexion du genou, le sujet réalisait à nouveau une extension maximale en positionnant le segment jambier au même niveau que la position zéro anatomique (ZA) établie précédemment, puis il réalisait une flexion maximale. On mettait en place les butées de sécurité au niveau des positions définies. Après on établissait la gravité articulaire (tonus musculaire) à l'aide de l'ordinateur et par rapport à la position du sujet et la bras du dynamomètre. Le sujet étant correctement positionné sur le siège et les réglages effectués, le test pouvait démarrer.

8-9- Considérations biomécaniques pour des tests sur le genou.

La plupart des extenseurs, comme les fléchisseurs, sont des muscles ayant des insertions dont plus haute est placée au dessus de l'articulation de la hanche. La meilleure position de test est réalisée en position assise avec une inclinaison de 15° à 20° du tronc par rapport à la verticale.

Cette position met en préention optimale les muscles poly-articulaires notamment les ischios-jambiers (Gross et MC Grain, 1989). Ceci explique que la meilleure position de test ou d'exercice pour l'extension est réalisée en inclinant la chaise. Un bon positionnement permet aux extenseurs et fléchisseurs d'être sollicités d'une façon optimale.

Certaines études ont vérifié que ce positionnement permet une force maximale des extenseurs avec une reproductibilité (Gross et MC Grain, 1989 ; Gobelet et Grenions, 1991). Alors qu'il est souhaitable de stabiliser au maximum la cuisse, un coussin insuffisant ou un serrage trop important de la sangle de cuisse peut générer un inconfort suffisant pour inhiber la force développée par la cuisse.

L'activité du membre controlatéral est déterminante sur les forces développées par le membre testé (Goethals et coll., (1991). Kang et coll. (1997) ont montré que la force développée est plus importante quand la jambe controlatérale était immobilisée. Miller et coll. (1996) rapportent que la force développée par les ischios-jambiers est significativement augmentée par la mise en dorsiflexion de la cheville du côté testé, le cantonnement doit laisser libre le pied lors du test.

8-10- Exemple de Tests isocinétique sur Cybex Norm II

Test isocinétique isométrique

La force maximale volontaire est mesurée au niveau du quadriceps sur appareil isocinétique Cybex Norm II (M GAYDA et coll.2003), à une angulation d'environ 60° de l'articulation du genou et 120° de la hanche. Le sujet était sanglé au niveau du buste et du genou afin de respecter ces positions angulaires. La performance musculaire était appréciée à l'aide de la mesure de la force musculaire isométrique volontaire (FMIV) et du temps de maintien (TM) à 50% de la FMIV. Le sujet bénéficiait d'une période d'adaptation à l'appareil et au mouvement afin d'éliminer les effets de l'apprentissage. Le sujet réalisait 3 séries de 3 essais pour développer la force maximale. Les essais étaient séparés de 10sec. Chaque série était entrecoupée d'une phase de récupération de 20 secondes.

Les meilleures valeurs de chaque série étaient conservées et moyennées. Cette valeur moyenne était considérée comme la FMIV. Après 5minutes de récupération, le sujet effectuait alors une extension maintenue à 50% de la FMIV. Un repère visuel correspondant à 50 % de la FMIV était placé sur l'écran de l'ordinateur, le sujet faisait correspondre le tracé de la force générée avec ce repère, il pouvait ainsi mieux contrôler l'intensité de la contraction. Dès que le couple de force atteignait le repère visuel, le chronomètre était enclenché, le sujet maintenait sa contraction le plus longtemps possible. Le temps écoulé était régulièrement donné (toute les 15sec) et le sujet était encouragé afin d'obtenir la meilleure performance possible. Quand la consigne n'était plus respectait (tracé de la force sous le repère visuel), le test se terminait et le TM était noté.

Epreuve isocinétique dynamique concentrique

La fonction musculaire en mode concentrique a été mesurée au niveau des quadriceps et des ischio-jambiers sur un appareil isocinétique de type Cybex Norm II chez le sportif. Afin d'utiliser l'ergomètre dans les meilleures conditions de sécurité, un léger échauffement de dix (10) minutes sur ergocycle (Monark, Suède) avec charge à vide à été réalisé avant les tests dynamiques, de plus un minimum de trois contractions volontaires isométriques sous maximales étaient effectuées afin de vérifier l'alignement de l'articulation. Cette phase permettait le choix de la meilleure configuration du bras de levier en fonction la longueur de jambe de chaque sujet. De plus, les sujets pouvaient se familiariser avec l'appareil et mieux coopérer par la suite à la réalisation du test.

On a mesuré le couple développé par le sujet au cours d'une contraction avec raccourcissement des insertions musculaires. Pour cela le sujet actionne un bras de levier qui se déplace à une vitesse angulaire constante 240°/sec, 180°/sec, 60°/sec, 30°/sec.

Le sujet effectuait dans un premier temps une série de 15 extension-flexion à vitesse angulaire de 240°/sec dans le but de sentir le mouvement et s'adapter à l'ergomètre. Puis le sujet réalisait trois (3) séries de 15 extension – flexion à des vitesses angulaires respectives : 180°/s, 60°/s,30°/s. Chaque série était entrecoupée d'une phase de récupération d'une minute.

Le nombre de répétitions écoulées était régulièrement donné et le sujet était encouragé afin d'obtenir la meilleure performance c'est à dire aller jusqu'au bout des trois séries en respectant la consigne d'aller toujours au bout du mouvement soit en flexion soit en extension. L'ergomètre suivait le mouvement articulaire généré par les muscles. On peut ainsi obtenir différents paramètres (pic de couple, la puissance moyenne, le travail, le rapport ischio-jambier/quadriceps...) pour les extenseurs et pour les fléchisseurs du genou.

Epreuve isocinétique dynamique excentrique

La fonction musculaire en mode excentrique a été mesurée au niveau des quadriceps et des ischio-jambiers sur un appareil isocinétique de type Cybex Norm II. Afin d'utiliser l'ergomètre dans les meilleures conditions de sécurité, un léger échauffement de dix (10) minutes sur ergocycle (Monark, Suède) avec charge à vide à été réalisé avant les tests dynamiques, de plus un minimum de trois contractions volontaires isométriques sous maximales étaient effectuées afin de vérifier l'alignement de l'articulation.

Cette phase permettait le choix de la meilleure configuration du bras de levier en fonction la longueur de jambe de chaque sujet. De plus, les sujets pouvaient se familiariser avec l'appareil et mieux coopérer par la suite à la réalisation du test.

On a mesuré le couple développé par le sujet au cours d'une contraction avec éloignement des insertions musculaires. Pour cela le sujet actionne un bras de levier qui se déplace à une vitesse angulaire constante 180°/sec, 60°/sec.

Le sujet effectuait dans un premier temps une série de 5 extension-flexion à vitesse angulaire de 180°/sec dans le but de sentir le mouvement et s'adapter à l'ergomètre. Puis le sujet réalisait une série de 5 extension –flexion à des vitesses angulaires 60°/s. Chaque série était entrecoupée d'une phase de récupération d'une minute.

Le nombre de répétitions écoulées était régulièrement donné et le sujet était encouragé afin d'obtenir la meilleure performance c'est à dire aller jusqu'au bout des trois séries en respectant la consigne d'aller toujours au bout du mouvement soit en flexion soit en extension. L'ergomètre suivait le mouvement articulaire généré par les muscles. On peut ainsi obtenir différents paramètres (pic de couple, la puissance moyenne, le travail, le rapport ischio-jambier/quadriceps...) pour les extenseurs et pour les fléchisseurs du genou.

Conclusion :

L'entraînement et la rééducation du sportif, en tant que processus qui produit une modification d'état par l'intermédiaire d'exercices physique, poursuit l'objectif d'un développement de la capacité de performance sportive. Les facteurs de la condition physique et de la coordination neuro-musculaire qui englobent les déterminants métaboliques et mécaniques constituent un ensemble de variable que l'entraînement tente d'améliorer. L'isocinétisme permet, grâce à la résistance asservie et au contrôle de la vitesse du mouvement, une production de force très contrôlée sur l'amplitude du mouvement. Cette méthode de travail faisant varier la longueur du muscle en mode concentrique ou concentrique trouve son originalité au sein de la multitude des méthodes de renforcement musculaire et présente, dans un contexte sportif, un triple intérêt. Elle permet, en effet, grâce à une méthodologie rigoureuse, la poursuite les trois objectifs d'évaluation, d'optimisation des capacités contractiles et de prévention des dysfonctionnements liés aux pratiques sportives. La constante amélioration des dynamomètres isocinétiques favorise la mise en place de protocoles d'évaluations de la fonction musculaire et la réalisation de nombreux programmes de développement du potentiel physique du sportif.

Références bibliographiques

- Augustsson J. Weight training of the thigh muscles using closed vs open kinetic chain exercises: a comparison of performance enhancement. *J Orthop Sports phys Ther* 1998; 27(1): 3-8
- Amato M. Influence de l'âge et de l'activité sportive sur le profil isocinétique des muscles quadriceps et ischiojambiers de jeunes footballeurs et gymnastes. *Ann Réadaptation Méd Phys* 2001 ; 44 : 581-90.
- Bosco C. Relationship between isokinetic performance and ballistic movement. *Eur J Appl Physiol.*1983; 51:357-64.
- Calmels P. Déficit musculaire des quadriceps et des ischiojambiers après fracture de jambe. *Ann Réadapt Med Phys* 1990; 33: 411-9.
- Cometti G. Football et musculation. Paris ; Actio Editions 1993.
- Cometti G. La préparation physique en football. Edition Chiron sport 20002 ; p :
- Dauty M. Corrélations et différences de performance entre des footballeurs, professionnels, en formation et amateurs à partir du test de sprint (10 mètres départ arrêté) et de tests isocinétiques du genou. *Science et Sport* 2004 ; 19 : 75-79.
- Dauty M. Relation entre la force isométrique, le saut et le sprint chez le footballeur de haut niveau. *Science et sport* ; 2002 : 122-7.
- Gayda M, Merzouk A, Choquet D, Doutrelot PL, Ahmaidi S. aptitudes cardiorespiratoires et fonction musculaire périphérique chez des patients coronariens. *J Sports sci* 2003 ; p : 173-203.
- Gobelet C. Mesure de la force musculaire isocinétique du quadriceps et des ischiojambiers. Aspects normaux et pathologiques. In : Heuleu JN, Codine P, Simon L, eds. *Isocinétisme et médecine de rééducation*. Paris : Masson ; 1991. p. 75-83.
- Gross MT. Relationship between multiple predictor variables and normal knee torque production. *Phy Ther.* 69: 45-62, 1989.
- Hausswirth C. The Cosmed K4 telemetry system as an accurate device for oxygen up taken measurement during exercise. *Int J Sports Med.* 1997; 18(6): 449-53.
- Janin JF. Effets de la masse segmentaire sur les mesures isocinétiques du dynamomètre Cybex Norm. *Kinésithérapie scientifique* 1999 ; 387 : 7-17.
- Kerkour K. Force musculaire maximale isocinétique (FMMI), extenseurs et fléchisseurs sagittaux du genou. *Ann Kinésithér* 1987 ; 14 : 281-3.
- Lassau V, Pochelle M, Bernard PL, Codine P. Evolution de la puissance maximale des membres inférieurs. *Ann Kinésithér* 1995 ; 22 : 193-202.
- Le Gall F, Laurent T, Rochcongar P. Evolution de la force musculaire des fléchisseurs et extenseurs du genou mesurée par dynamomètre isocinétique concentrique chez le footballeur de haut niveau. *Science et Sport* 1999 ; 14 :167-72.
- Oberg B, Roller M, Gillquist J, Ekstrand J. Isokinetic torque levels for knee extensors and knee flexors in soccer players. *Int J Sports Med* 1986; 7: 50-3.
- Ostenberg A. Isokinetic knee extensor strength and functional performance in healthy female soccer players. *Sd J Med Sci Sports* 1998; (5pt 1): 257-64.
- Pochelle M, Codine P. Etude isocinétique des muscles du genou chez des footballeurs de 1ere division. *Ann Kinésithér* 1994 ; 21 :373-7.
- Pochelle M, Codine P. *Isocinétisme et médecine sportive*. Masson éditions 1998.