

**MINISTERE DE LA SANTE
REGION LORRAINE
ECOLE DE KINESITHERAPIE DE NANCY**

**ETUDE ISOCINETIQUE
DES ROTATEURS D'EPAULE**
Etablissement d'une population témoin saine
comparée à un cas de rupture de coiffe

**Rapport de travail écrit personnel
présenté par André PARENT
étudiant en 3ème année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat
de masseur kinésithérapeute
1991-1992**

SOMMAIRE

RESUME

| | |
|---|-------------|
| 1. INTRODUCTION | P 1 |
| 2. RAPPEL DE BIOMECHANIQUE | P 2 |
| 3. MATERIEL ET METHODE | P 4 |
| 3.1 Matériel | P 4 |
| 3.1.1. <i>Rappel de la notion d'isocinétisme</i> | P 4 |
| 3.1.2. <i>Présentation de l'appareil utilisé : le CYBEX 350</i> | P 4 |
| 3.1.3. <i>Intérêts et limites du Cybex 350</i> | P 6 |
| a. <i>Intérêts</i> | P 6 |
| b. <i>Limites</i> | P 8 |
| 3.1.4. <i>Population étudiée</i> | P 8 |
| 3.2. Méthode | P 9 |
| 3.2.1. <i>Description de la position du test</i> | P 9 |
| 3.2.2. <i>Protocole du test</i> | P 13 |
| 3.2.3. <i>Paramètres étudiés</i> | P 16 |
| 4. RESULTATS - DISCUSSION | P 17 |
| 4.1. Le Pic de couple | P 17 |
| 4.2. L'angle d'efficacité maximale des différents groupes musculaires | P 18 |
| 4.3. Le rapport des muscles agonistes/antagonistes : RE/RI | P 20 |
| 4.4. Aspect de la courbe | P 21 |
| 5. ETUDE DE CAS | P 22 |
| 5.1. Présentation de cas | P 22 |
| 5.2. Bilan Kinésithérapique (compte rendu de synthèse du 22.10.91) | P 23 |
| 5.3. Bilan CYBEX du 29.10.91 | P 24 |
| 5.3.1. <i>Courbe</i> | P 24 |
| 5.3.2. <i>rapport numérique</i> | P 26 |
| 6. CONCLUSION | P 29 |
| BIBLIOGRAPHIE | |
| ANNEXES | |

RESUME

Après un rappel de la biomécanique des rotateurs courts de l'épaule et de la notion d'isocinétisme, nous proposons un protocole de test isocinétique des rotateurs internes et externes d'épaule en position neutre modifiée à vingt sujets sains (dix hommes et dix femmes).

Ce test permet de vérifier les données suivantes :

- quelque soit le côté (dominant ou non) et quelque soit la vitesse d'exécution du mouvement les rotateurs internes sont toujours supérieurs ou rotateurs externes.*
- Le travail musculaire est inversement proportionnel à la vitesse d'exécution du mouvement.*
- L'angle d'efficacité maximale des rotateurs externes se situe en course externe, celui des rotateurs internes se situe en course moyenne.*
- Pour obtenir une bonne stabilité active d'épaule il faut un rapport $RE/RI = 2/3$*

Notre étude nous permet de dégager un profil standard de courbes concernant les rotateurs externes et internes.

Ces différentes références numériques et graphiques, nous servent de point de repère pour bilancer une épaule pathologique après rééducation.

1. INTRODUCTION

Le but de ce travail est de proposer à une population de 20 sujets sains un protocole de test isocinétique des rotateurs de l'épaule afin d'étudier les valeurs du couple maximum de force musculaire de ces muscles et de vérifier le rapport qu'il est souhaitable d'établir pour pouvoir espérer obtenir une stabilisation active correcte de l'articulation scapulohumérale.

Une fois ce travail réalisé, le même test est proposé à un sujet opéré d'une rupture de coiffe des rotateurs pour comparer ses valeurs aux normes établies sur la population témoin et bilanter ainsi son épaule après rééducation.

2. RAPPEL DE BIOMECHANIQUE

La biomécanique de l'épaule, complexe articulaire très élaboré, a permis de mettre en évidence l'importance de la musculature périscapulaire.

Le système capsulo-ligamentaire n'est pas un facteur de stabilité de l'articulation car il doit être très lâche pour permettre une grande mobilité. Seul le système musculaire assure par son tonus une stabilité de l'articulation. Si l'on peut considérer que tous les muscles participent à la stabilisation de la tête humérale, un certain nombre sont plus particulièrement affectés à cette fonction ; les rotateurs courts sous scapulaire en avant, sous épineux et petit rond en arrière forment sur le plan anatomique avec le sus-épineux une nappe tendineuse à leur terminaison : le sous-scapulaire se terminant sur le trochin, le sus-épineux, sous épineux et petit rond sur le trochiter. Ils sont rotateurs internes pour le sous-scapulaire, rotateurs externes pour le sous-épineux et le petit rond.

Ensemble ils sont coaptateurs de l'articulation scapulo-humérale.

Fonctionnellement il faut leur associer le tendon intraarticulaire du biceps.

Ces muscles qui sont au contact de la tête humérale constituent la coiffe des rotateurs. La fonction essentielle de ces muscles est la stabilisation. La coiffe permet le centrage de la tête humérale sur la cavité glénoïde. Elle s'oppose à la composante ascensionnelle du deltoïde dont l'action montre qu'au début du mouvement, au moins, la composante luxante vers le haut est supérieure à la composante d'abduction d'où il faut supposer un système venant contrebalancer cette action luxante.

L'élévation sous l'effet du deltoïde ne peut se faire sans l'action d'une force d'abaissement qui est celle des muscles de la coiffe (cf. bibliographie n°3).

En effet l'étude de la décomposition de leur force montre que chacun d'eux possède, indépendamment de son action rotatoire individuelle, une action semblable de coaptation dirigée en dedans et en bas et c'est cette force qui seule peut neutraliser la composante luxante vers le haut du deltoïde (Fig n°1).

Le centrage de la tête humérale est un mécanisme dynamique. Lors de l'élévation du membre supérieur les muscles de la coiffe des rotateurs réalisent un ajustement permanent mis en évidence par l'étude de GONON et COLL. Ces derniers ont pu déterminer qu'il existait une série de centres instantanés de rotation lors du mouvement.

Lors de l'abduction il y a une combinaison permanente de rotation de la tête sur elle-même et du roulement de cette même tête dans la glène. C'est cette composante de roulement qui excentre la tête et qui explique que le centre de rotation lui-même se déplace en permanence.

La coiffe va donc de façon concomitante lutter contre cette excentration en permettant le changement de centre de rotation et assurer un rôle moteur.

Le respect de la restitution de ces centres de rotation (contrôle de l'excentration de la tête humérale) est essentiel au bon fonctionnement de l'épaule.

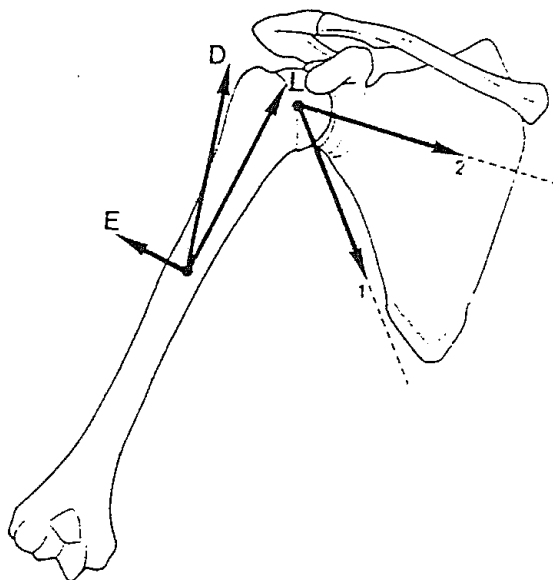


Fig n°1 : La force du deltoïde peut-être décomposée en force (E) produisant l'élévation, force (L) axiale, facteur de subluxation. Direction de la résultante des muscles de la coiffe des rotateurs selon Inman (1), selon Poppen et Walker (2).

3. MATERIEL ET METHODE

3.1. Matériel

3.1.1. Rappel de la notion d'isocinétisme :

HISLOP et PERRINE en 1967 ont les premiers introduit le concept d'exercice isocinétique en proposant de contrôler la vitesse d'exécution du mouvement donc la vitesse à laquelle le muscle se contracte pour imposer une résistance maximale à la contraction musculaire.(cf. bibliographie n°12)

L'isocinétisme est un moyen résistant sans inertie qui n'utilise pas de masses additionnelles reliées au patient mais qui consiste en un appareillage compact capable de produire par réaction interne asservie, une opposition à l'action musculaire développée par le sujet (phénomène basé sur la notion d'action = réaction). A la différence des charges directes et / ou indirectes le lieu d'application de l'organe de transmission de la résistance opposée est sans importance puisque l'appareil enregistre le moment moteur fourni par le sujet afin de calculer le moment résistant à produire.

Il apparait donc que l'utilisation d'un système à résistance asservie permet d'opposer toujours un effort maximum au sujet quelque soit le bras de levier.

Pour satisfaire au principe de l'appareil qui assujettit la résistance fournie à la puissance développée, l'opérateur détermine à l'avance une vitesse d'exécution constante choisie au préalable.

3.1.2. Présentation de l'appareil utilisé : le CYBEX 350

Le **CYBEX 350** est un système évolué d'évaluation et de rééducation fonctionnelle isocinétique des articulations périphériques.

Ce système mesure avec précision les couples de force dynamique, en fonction de la position angulaire, de la vitesse, et du mouvement des diverses articulations.

Ceci est rendu possible grâce à un dynamomètre isocinétique, utilisant

la technologie des servomoteurs électromécaniques, monté dans un ensemble ergonomique constitué de deux sièges et une table dont les divers réglages et systèmes de liaison permettent de configurer les **genoux**, les **hanches**, les **chevilles**, les **épaules**, les **coudes** et les **poignets** dans les plans principaux de mouvements.

Un ordinateur associé à la machine permet de piloter le dynamomètre et les périphériques (écran, clavier, imprimante) afin d'acquérir les mesures et calculer les forces, les amplitudes, les puissances, le travail, l'endurance, etc... des articulations, gérer les fichiers des patients, et les mémoriser.

Les caractéristiques du CYBEX 350 permettent également aux thérapeutes d'organiser et de programmer des protocoles de rééducation grâce aux capacités de la machine :

- de s'autoadapter aux possibilités du patient,
- de travailler sur tout le spectre des vitesses fonctionnelles,
- d'offrir une sécurité optimum quel que soit l'exercice.

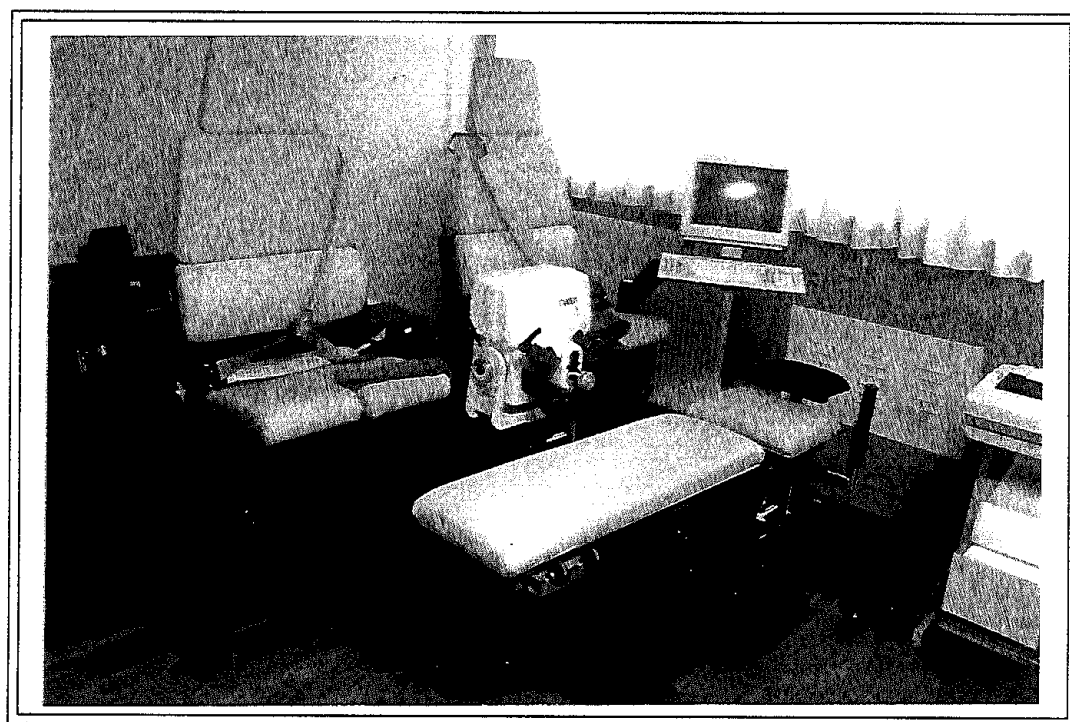


Photo n°1 : Appareil isocinétique CYBEX 350

3.1.3 Intérêts et limites du CYBEX 350

a) Intérêts

Les intérêts essentiels du CYBEX 350 résultent de ses possibilités techniques ;
il permet :

- d'éviter le tatonnement dans le choix de la force à appliquer . Le calcul ou la détermination par la méthode «essais-erreurs» de la résistance maximale est inutile puisque l'appareil adapte instantanément la résistance à l'effort développé par le patient.
- de sélectionner la vitesse angulaire du mouvement qui assure à ce dernier une régularité essentielle pour bien réaliser l'amplitude, pour éviter un mouvement saccadé et pour permettre la reproductivité. La sélection de la vitesse autorise l'enregistrement d'une force isométrique à vitesse nulle, d'une force musculaire à vitesse faible, d'une force musculaire à vitesse élevée (cf. bibliographie n°1).
- au patient d'effectuer le mouvement selon ses capacités réelles autorisant des mesures même en cas de faiblesse musculaire. Il apporte une solution à la situation envisagée d'arc douloureux consécutif au soulèvement direct ou indirect de masses additionnelles trop importantes pour un secteur défini, ce qui nécessite soit de limiter l'amplitude totale soit de diminuer la charge de travail. Avec le système asservi, dès les premiers prodromes douloureux le sujet diminue l'intensité de son effort ce qui entraîne automatiquement une chute de la résistance et lui permet de passer plus facilement l'arc douloureux.
- d'enregistrer à des vitesses connues et préréglées un couple de force instantané des

groupes musculaires agonistes et antagonistes dans un degré de liberté articulaire.

- d'analyser directement les valeurs obtenues par rapport à la valeur angulaire du mouvement effectué. Ceci permet de connaître la force développée à n'importe quelle position angulaire de l'articulation.

- de juger de l'intégrité de l'articulation en analysant la régularité de la courbe et d'incriminer un phénomène douloureux fugace lorsqu'on enregistre un décrochement, un accident. On peut ainsi, grâce à la courbe, mettre en évidence certaines pathologies de l'appareil musculo-capsulo-ligamentaire.

- d'évaluer le rapport entre amyotrophie clinique et force du groupe musculaire testé.

- de comparer les rapports d'efficacité entre groupes musculaires agonistes et antagonistes afin que la rééducation puisse être orientée vers le rapport souhaité reconnu du côté sain.

- d'orienter le travail rééducatif sur un secteur de l'amplitude articulaire en fonction du renforcement souhaité et des phénomènes douloureux éventuels (faire travailler un groupe musculaire dans le secteur d'antalgie pour éviter les réactions inflammatoires).

b) Limites

- il faut veiller au bon positionnement du patient pour que la reproductivité soit fiable et afin d'éviter les possibles compensations.

- l'enregistrement renseigne sur l'activité d'un groupe musculaire mais n'autorise pas l'analyse d'un muscle ou d'un chef musculaire. Les anomalies observées sur les tracés dits pathologiques ne permettent pas toujours de les rapporter à une pathologie précise et donc à un diagnostic lésionnel.

- la fonction asservie n'est réalisée que quand le patient anime l'appareil à la vitesse pré réglée ; en deçà la résistance autoadaptée disparaît. La motivation du patient et la persuasion du thérapeute jouent donc un rôle prépondérant dans la réussite du test.

- absence d'une charge opposée de type excentrique.

3.1.4. Population étudiée

L'étude a été réalisée sur 20 sujets sains (10 hommes et 10 femmes) tous droitiers.

La moyenne d'âge est de 35 ans.

Aucun d'entre eux ne présentait de symptômes d'une atteinte de l'épaule.

3.2. Méthode

3.2.1. Description de la position du test

Trois positions de tests sont préconisées par le manuel d'utilisation du CYBEX 350

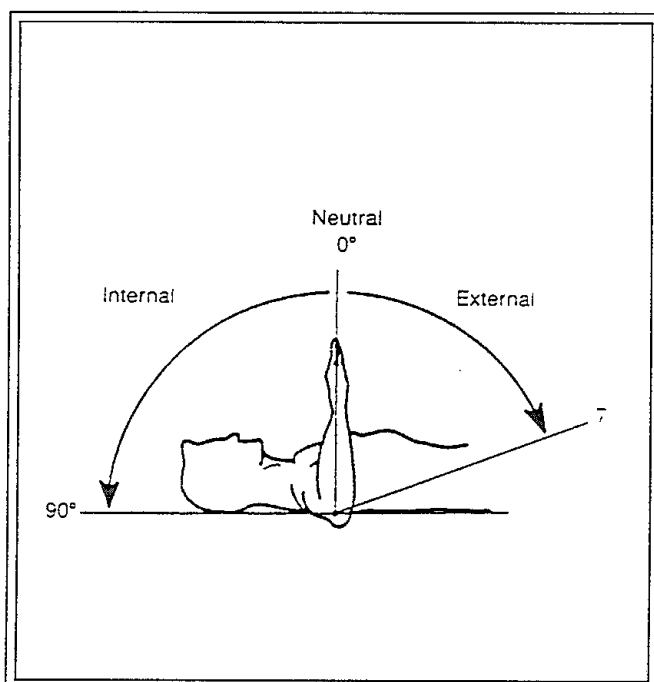


Fig n° 2 : Epaule placée à 90° d'Abduction , le sujet étant allongé

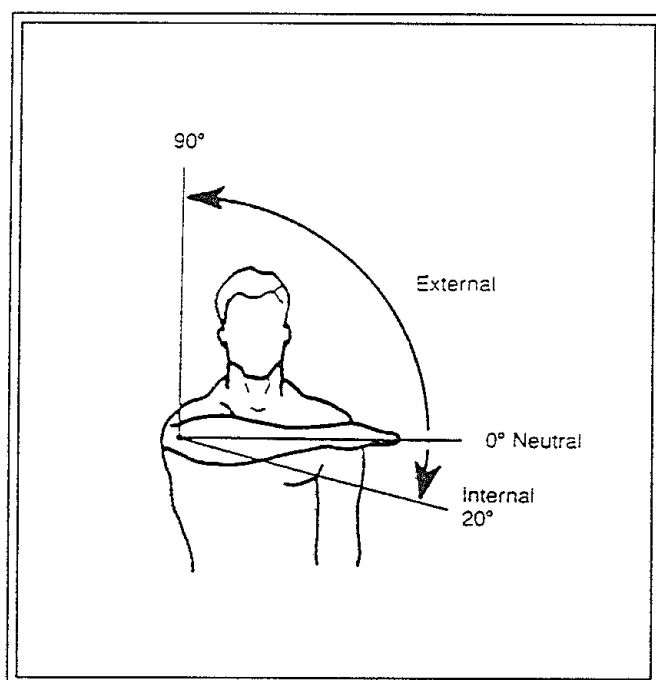


Fig n° 3 : Epaule placée à 90° de flexion; le sujet étant assis face au dynamomètre

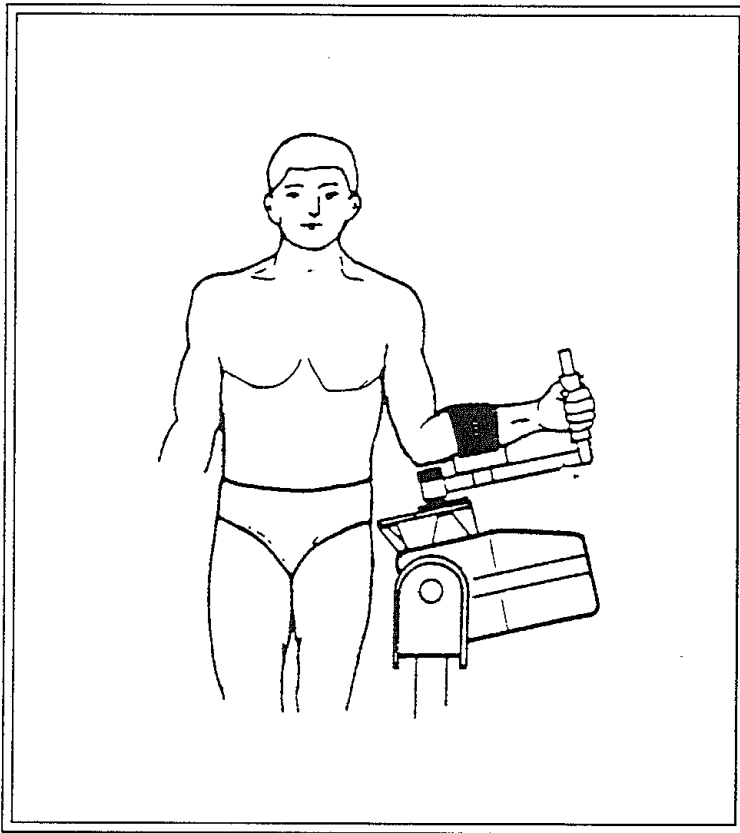


Fig n° 4 : Epaule placée en position neutre modifiée, le patient étant debout perpendiculairement au dynamomètre, ce dernier étant incliné de 70° en arrière.

Deux impératifs ont guidé la détermination de la position du test :

- le test devait être

reproductible

utilisable pour bilancer des épaules pathologiques.

Les 90° d'abduction ou de flexion n'étant pas toujours réalisables dans de bonnes conditions chez les sujets pathologiques, notre choix s'est porté sur la position neutre modifiée.

Toutefois quelques modifications ont été apportées quant à l'installation du sujet afin d'éviter les trop fortes compensations possibles au niveau du tronc.

**La position du test
est donc la suivante :**

Photo n°2 :

Position du test, vue de profil

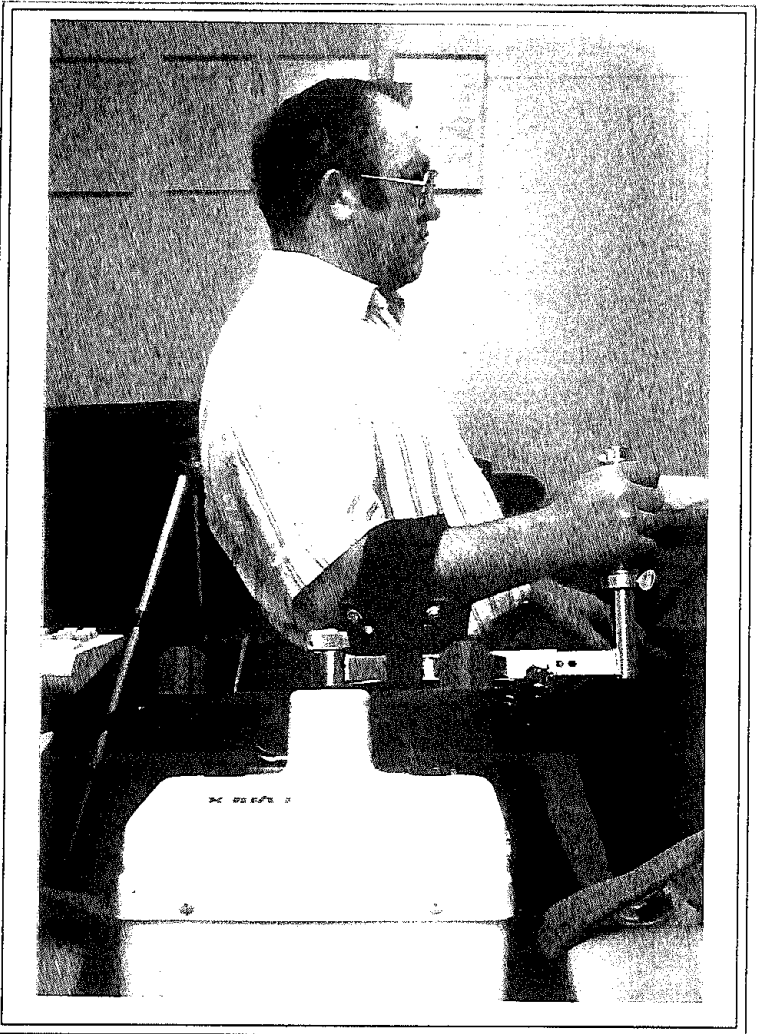


Photo n°3 :

Position du test, vue de face

- Le sujet est assis sur un tabouret réglable en hauteur (s'assurer de la bonne horizontabilité des deux épaules avant le début du test pour diminuer principalement la participation des abdominaux.
- L'axe de la diaphyse humérale doit coïncider avec celui du dynamomètre.
- Le bon alignement nécessite une légère abduction ainsi qu'une légère flexion.
- Le coude est fléchi à 90° et l'avant bras est sanglé par un accessoire de stabilisation ; la main agrippe une poignée.
- Le mouvement se fait dans un plan oblique.
- Le membre inférieur situé du côté du dynamomètre prend appui au sol.
- Le membre inférieur controlatéral prend appui sur un podium. De sa main libre le patient prend appui sur le genou controlatéral pour se stabiliser et éviter une trop forte participation du tronc lors du test.
- Il est demandé au patient de réaliser un verrouillage dorso-lombaire lors du déroulement du test. Pendant celui-ci le thérapeute est situé derrière le patient et le stabilise. Au niveau des épaules il fixe indirectement l'omoplate en maintenant la clavicule.
- La distance axe du dynamomètre - poignée de maintien est réglable en fonction de la longueur de l'avant-bras du patient.

3.2.2. Protocole du test

Le mouvement est volontairement limité.

La rotation interne (RI) est limitée par l'abdomen du patient.

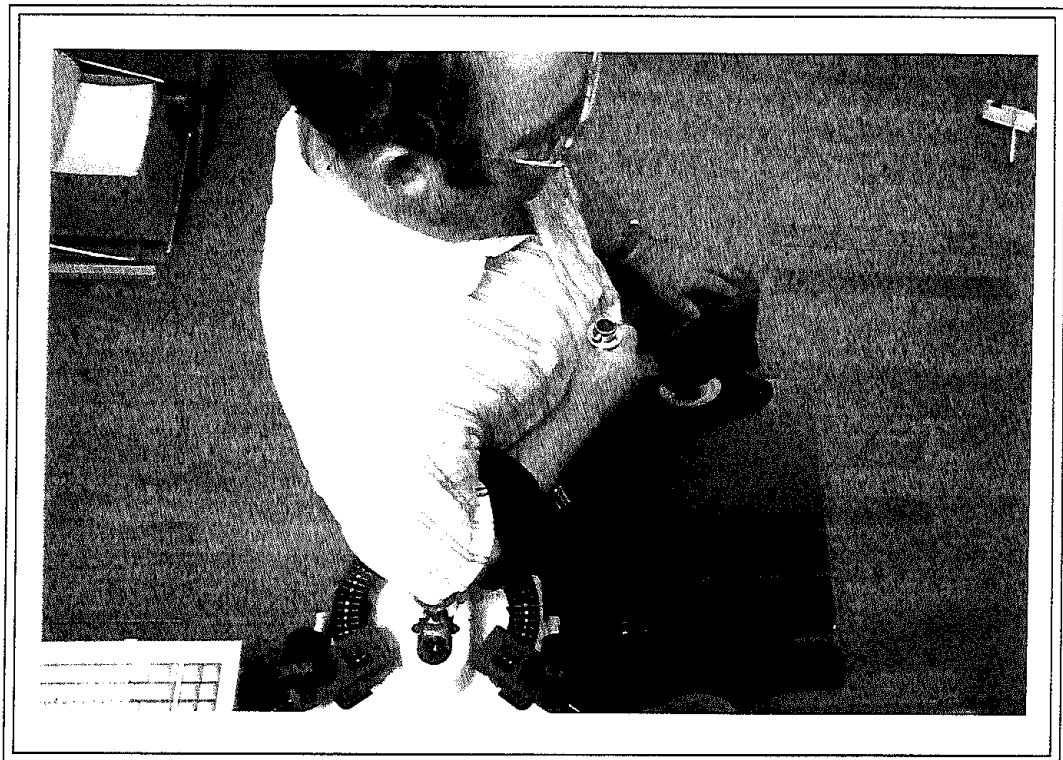


Photo n°4 : Position en rotation interne

La rotation externe (RE) est limitée par une butée articulaire située sur le dernier repère d'étalonnage du dynamomètre (soit un débattement de RE de 25° par rapport à la position neutre retenue) .



Photo n° 5 : Position en rotation externe

La première des manipulations est la détermination de la position neutre. Celle-ci est représentée lorsque le segment antibrachial est parallèle au plan sagittal passant par l'axe médian du corps.

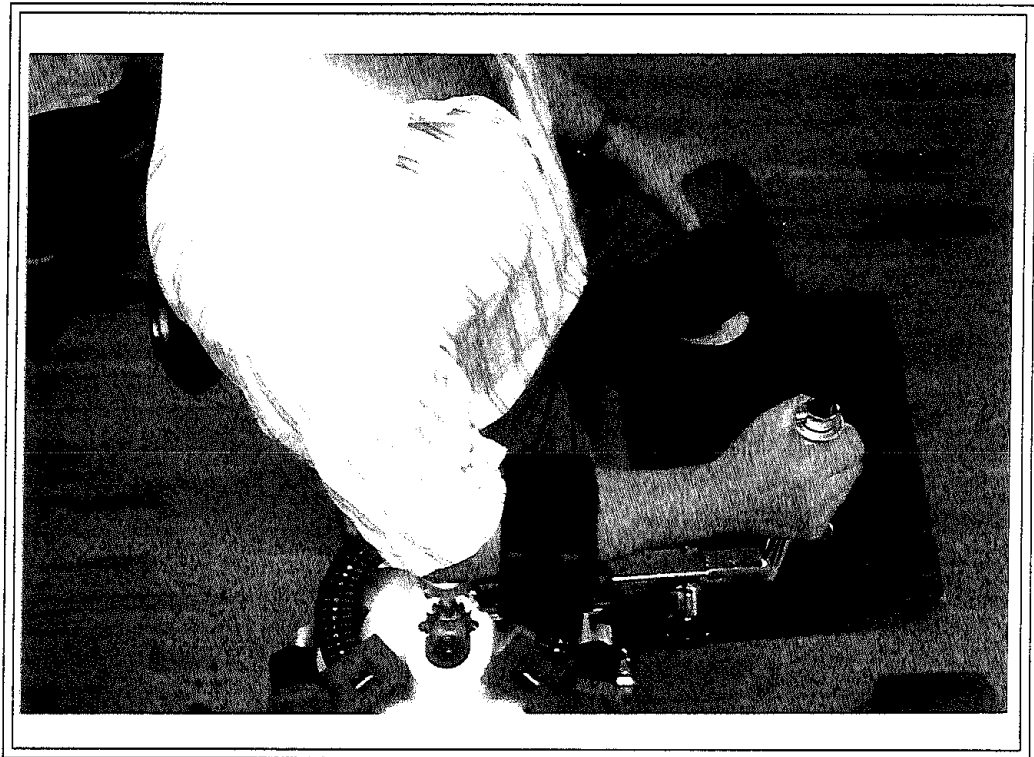


Photo n°6 : Position neutre

Une fois la position neutre enregistrée le test commence en RE complète.

Le test réalisé comporte deux "séries TEST".

1 série de 3 allers-retours complets (RI - RE) à 60°s^{-1}

1 série de 4 allers-retours complets à 120°s^{-1}

Chaque "série TEST" est précédée d'une série "ESSAI" de 4 répétitions à vitesse correspondante pour se familiariser avec le type d'effort (éviter l'effet de surprise) et

permettre un échauffement des groupes musculaires sollicités.

Un temps de repos de 20 secondes est aménagé pendant le changement de vitesse. Le test étant comparatif, il s'effectue d'abord du côté dominant puis du côté dominé (chez un sujet porteur d'une pathologie, côté sain puis côté lésé).

Le sujet est stimulé verbalement par le thérapeute qui donne comme ordre de pousser (en rotation externe) et de tirer (en rotation interne) le plus fort et le plus vite possible dans toute l'amplitude déterminée au préalable.

Remarque : Des tests de reproductibilité ont été réalisés pour mettre à l'épreuve la position et le protocole du test. Les courbes comparatives ont donné satisfaction et confirmé l'aspect reproductible du test (cf. annexe I : courbes de reproductibilité).

3.2.3. Paramètres étudiés

Le recueil informatisé (cf. annexe II "Contenu des rapports numériques CYBEX : listing et significations") des données a permis de porter notre attention sur :

- Le pic de couple (valeur maximum du couple atteinte lors d'un mouvement) pour chaque vitesse (60s^{-1} 120s^{-1}) il s'exprime en Nm.
- La position angulaire correspondante au pic de couple c'est-à-dire l'angle d'efficacité maximale des différents groupes musculaires.
- Le rapport des muscles agonistes/antagonistes (RE/RI).
- L'aspect de la courbe à 60 s^{-1} .

L'ensemble des enregistrements nous a permis d'établir un aspect de la courbe standard obtenue par des rotateurs d'épaule lors d'un test en position neutre modifiée.

Ce tracé est intéressant à connaître pour le comparer à des courbes de sujets porteurs d'une pathologie d'épaule afin de repérer d'éventuels accidents, décrochements, limitations et juger ainsi de l'intégrité de l'articulation.

4. RESULTATS DISCUSSION

4.1 Le PIC de couple (cf. annexe III - Tableau I)

| | PT1 | PT2 | PT3 | PT4 | PT5 | PT6 | PT7 | PT8 |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Moyenne | 22,55 | 20,70 | 18,65 | 16,20 | 35,25 | 35,10 | 31,20 | 29,55 |
| E.T. | 8,39 | 7,59 | 7,26 | 6,76 | 9,55 | 9,98 | 8,89 | 8,57 |
| MAXI | 40 | 32 | 35 | 25 | 51 | 56 | 50 | 46 |
| MINI | 10 | 9 | 8 | 6 | 18 | 21 | 17 | 17 |

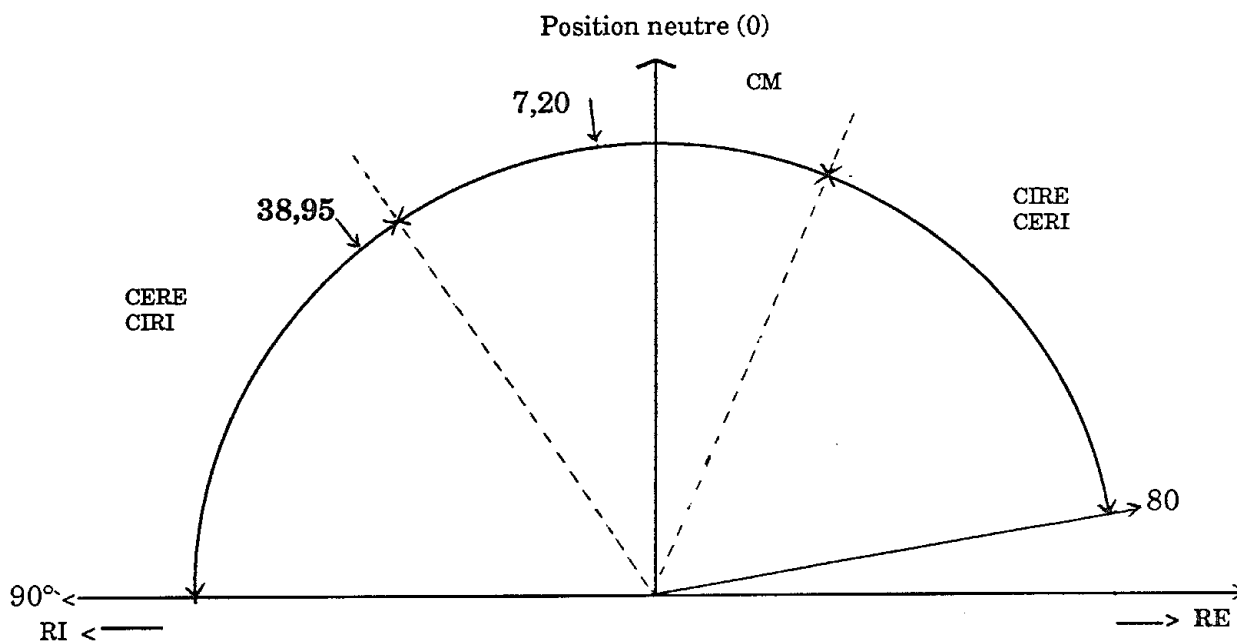
* Le côté dominant est plus fort que le côté non dominant dans 60% des cas (cf Tableau N°1 Peak Torque)

* Quelque soit le côté (dominant ou non dominant) et quelque soit la vitesse ($60s^{-1}$ ou $120s^{-1}$) les rotateurs internes sont toujours supérieurs aux rotateurs externes, ce qui confirme les résultats obtenus par l'étude de GENOT C. et NEIGER H. (cf. bibliographie n°7).

Cette supériorité est sans doute dûe au fait que par comparaison aux rotateurs externes, les rotateurs internes sont plus nombreux (4 contre 3), plus longs (3 longs et 1 court pour les rotateurs internes contre 1 long et 2 courts pour les externes), plus étendus et plus distants de l'axe mécanique de rotation (cf. bibliographie n°6).

* Les pics de couple les plus élevés pour les rotateurs internes ou les rotateurs externes sont retrouvés sur les vitesses angulaires les plus basses (dans 100% des cas). Ces résultats corroborent les données admises puisque le travail musculaire est inversement proportionnel à la vitesse d'exécution du mouvement (cf. bibliographie n°7, 14).

4.2. L'angle d'efficacité maximale des différents groupes musculaires musculaires (cf. annexe IV - Tableau II)



**Fig. n°5 : Angle d'efficacité maximale des différents groupes musculaires
à 60° s⁻¹ côté dominant**

- Amplitude articulaire d'après HEULEU-DANIELS : RE 80° /RI 90°
- Débattement articulaire : 170°
- CERE : Course Externe Rotateurs Externes
- CIRI : Course Interne Rotateurs Internes
- CM : Course Moyenne
- CIRE : Course Interne Rotateurs
- CERI : Course Externe Rotateurs Internes
- Les valeurs apparaissant en type standard correspondent aux valeurs de RI, celles en type gras correspondent à celles de RE

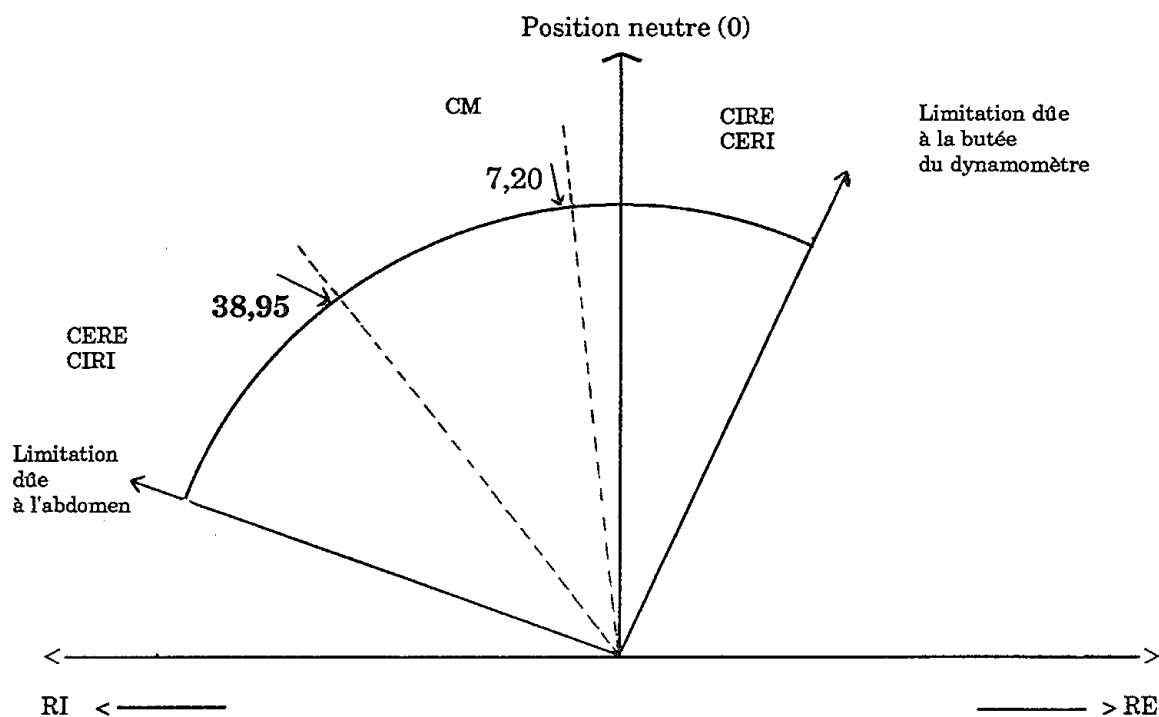


Fig. n°6 : Angle d'efficacité maximale des différents groupes musculaires à 60° s⁻¹ du côté dominant

- Débattement articulaire : 95°
- CERE : Course Externe Rotateurs Externes
- CIRI : Course Interne Rotateurs Internes
- CM : Course Moyenne
- CIRE : Course Interne Rotateurs Externes
- CERI : Course Externe Rotateurs Internes
- Les valeurs apparaissant en type standard correspondent aux valeurs de RI, celles en type gras correspondent à celles de RE

Analyse du Côté dominant

- à 60°s^{-1} l'angle d'efficacité maximale des rotateurs externes se situe en course externe ($38,95^{\circ}$).
- à 60°s^{-1} l'angle d'efficacité maximale des rotateurs internes se situe en course moyenne ($7,20^{\circ}$).

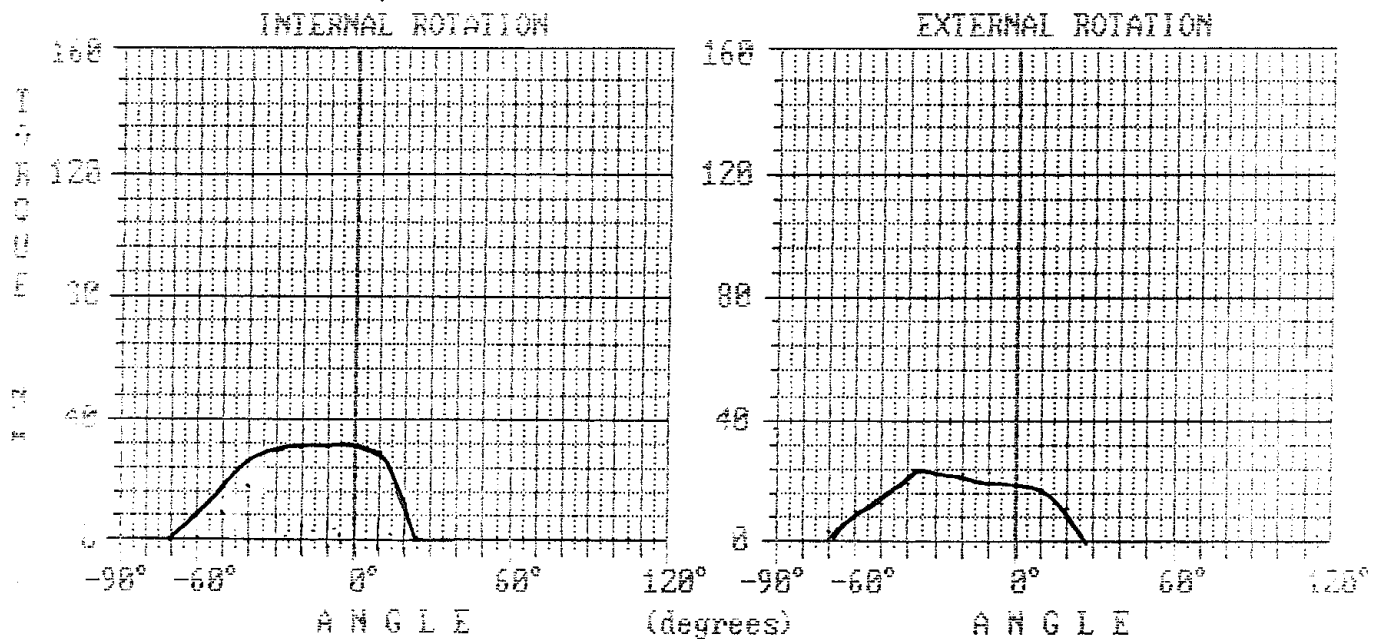
4.3. Le rapport des muscles agonistes/antagonistes :

RE/RI (cf. annexe V - Tableau III)

| | R1 | R2 | R3 | R4 |
|---------|------|------|------|------|
| Moyenne | 0,64 | 0,58 | 0,58 | 0,53 |
| E.T. | 0,16 | 0,13 | 0,14 | 0,14 |
| Maxi | 0,96 | 0,88 | 1,00 | 0,87 |
| Mini | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,32 |

D'après nos mesures et la littérature (cf. bibliographies n° 6, 7, 14), d'une manière générale pour avoir une bonne stabilité active d'épaule dans la position retenue il semble qu'il faille un rapport RE/RI = 2/3.

4.4. Aspect de la courbe



**Fig. n°7 : Courbes types des rotateurs internes et externes
à $60^{\circ} \text{ s}^{-1}$ du côté dominant**

Les courbes ont été réalisées, à partir de celles des vingt sujets témoins, en calculant la moyenne des différents points pris tous les 10° .

- Après une montée rapide, la courbe de rotation interne présente un plateau sur une course d'environ 35° . La force est donc constante en course moyenne qui correspond au secteur de vie de relation.

Le pic de couple se situe à un angle de 7° par rapport à la position neutre 0.

Après ce plateau la courbe chute en pente douce.

- La courbe de rotation externe présente également une montée rapide. Le pic de couple se situe à un angle de 39° par rapport à la position neutre retenue. La courbe ne présente pas de plateau. Les rotateurs externes semblent moins endurant que les rotateurs internes.

5. Etude de cas

Après avoir effectué un test isocinétique des rotateurs courts d'épaule en position neutre modifiée sur une population saine, il nous a semblé intéressant de comparer les normes dégagées par notre étude et la littérature avec les valeurs obtenues par un sujet pathologique après rééducation et de juger ainsi de l'apport d'un tel test.

5.1. PRESENTATION DU CAS

A la suite d'un accident du travail survenu en septembre 1990, Monsieur T avait présenté des douleurs à l'épaule droite et l'arthrographie avait mis en évidence une petite rupture partielle de la coiffe des rotateurs avec opacification aérique précoce de la bourse sous-acromio deltoïdienne. Aucune indication opératoire n'avait été retenue et un traitement de rééducation avait été proposé:

physiothérapie à type d'IR, massage, ionisation calcique, apprentissage de la dissociation scapulo-thoracique et scapulo-humérale avec répétitions des manoeuvres de décoaptation et du travail des abaisseurs, ainsi que renforcement des rotateurs selon le protocole de NEER (cf. bibliographie n°8, 15, 16).

Après 4 mois 1/2 de rééducation, monsieur T continue de se plaindre d'importantes douleurs de l'épaule droite localisées essentiellement dans la gouttière bicipitale; les amplitudes articulaires sont normales, la force de contraction des rotateurs internes est plus faible que celle des rotateurs externes.

Le scanner réalisé le 13.03.91 révèle une rupture post-traumatique du sous- scapulaire et une luxation associée du tendon du long biceps. Compte-tenu de l'échec relatif du traitement médico-kinésithérapique une intervention chirurgicale est réalisée le 17.06.91. L'intervention ne pose pas de difficultés particulières et monsieur T sort avec un plâtre thoraco-brachial qu'il portera jusqu'au 23.07.91

La reprise du traitement kinésithérapique a lieu le 4.07.91 au centre de réadaptation de Lionnois.

Schématiquement les grands axes du programme de rééducation proposé ont été les suivants :

- * sevrage du thoracobrachial - coussin d'abduction
- * récupération passive des amplitudes articulaires (scapulothoraciques et scapulo humérales).
- * exercices de dégagement et de recentrage de la tête humérale déjà enseignés en préopératoire.
- * abaissement de la tête humérale par sollicitation du grand dorsal.
- * récupération active des amplitudes articulaires.
- * tonification musculaire : stabilisations rythmées - protocole de NEER (cf. bibliographie n°8).
- * réentraînement à l'effort au travers de gestes de la vie quotidienne (ergothérapie).

5.2. Bilan kinésithérapique (compte-rendu de synthèse du 22.10.91)

A J+4 mois, monsieur T est en phase III de NEER (cf. bibliographie n°8), il ne présente plus de douleurs.

- * Les amplitudes passives sont normales pour la flexion, l'extension et l'abduction cependant elles restent limitées en rotation :
 RE = 65° (contre 95° du côté sain)
 RI : la main droite dans le dos atteint D8 (contre D5 du côté sain)
- * Les amplitudes actives sont subnormales :
 Flexion = 175°
 Abduction = 170°
 RE = 50°
- * La force musculaire reste limitée.
- * En ergothérapie monsieur T peut travailler à toute hauteur.
 Il présente une bonne stabilité d'épaule et une bonne endurance à l'effort.

5.3. Bilan CYBEX du 29.10.91

5.3.1. Courbes

ALFRED PA. TRACHLER 88167 PRINT REP PTC 81 SPD 883 POS 819 TQ 888 Nm
 SHOULDER IN/EX ROTATION, MODIFIED POSITION Thu Feb 06 16:54:08 1992

TORQUE vs. POSITION - BI-LATERAL INITIAL REPORT

LEGEND:

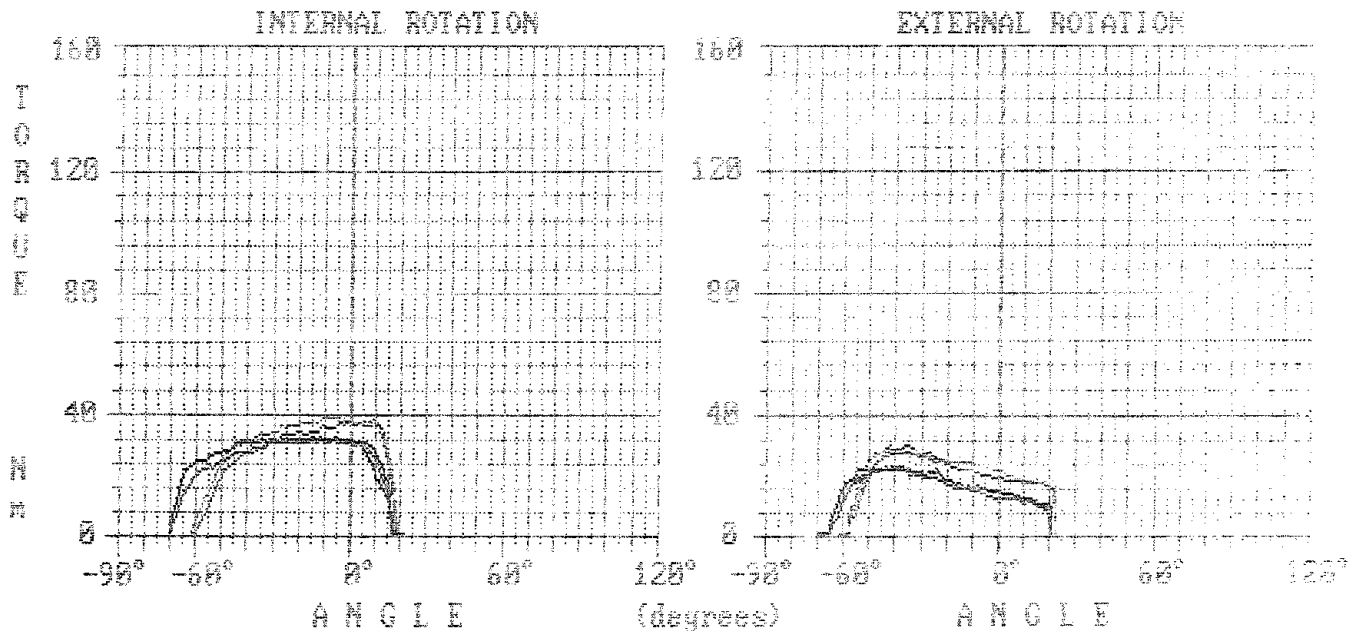
TEST 1 - LU TEST 2 - RI
 maximum points, maximum points,
 average points, average points,
 best work best work

test 1 date - 10/29/1991 09:15

test 2 date - 10/29/1991 09:23

test speed - 60 deg/sec

test reps - 3



L'aspect des courbes est reproductible et globalement respecté.

Pour la rotation interne, nous retrouvons une ascension rapide suivie d'un plateau en course moyenne (secteur de vie de relation) puis d'une descente progressive en course interne.

Pour la rotation externe, nous retrouvons une ascension rapide avec un couple de

force maximum situé en course externe, suivie d'une descente progressive sans apparition de plateau.

Nous ne constatons ni décrochement spécifique, ni aplatissement des différentes courbes.

La différence de point de départ de la rotation externe (différence de 10° environ entre côté sain et côté pathologique) peut-être dûe :

- au fait que la butée en rotation interne étant une butée anatomique molle (masse abdominale), on n'ait pas exactement le même repère.
- à une légère compensation de la part du patient.

L'information concernant les amplitudes articulaires n'est pas d'un grand apport par rapport à la goniométrie, notamment en course externe, puisque la position du test appliqué impose une limitation de la rotation externe par une butée.

Du reste, le bilan kinésithérapique fait apparaître une limitation persistante de la rotation externe (65° contre 95° du côté sain), information qui n'apparaît pas sur le tracé.

Ce que les graphiques peuvent laisser supposer, c'est une légère diminution du pic de couple du côté pathologique de l'ordre de 10 Newton mètre (Nm) en rotation interne et de 8 Nm en rotation externe.

5.3.2. Rapport numérique

| | | | | | |
|---|--------------|--------------------------------|-----------|--------------------|--|
| INSTITUT REGIONAL DE READAPTATION NANCY | | | | INITIAL BI-LATERAL | |
| PATIENT NAME: TRACHLER ALFRED | | REPORT DATE: Thu Feb 06 16:53: | | | |
| PTC17 SHOULDER IN/EX ROTATION, MODIFIED POSITION | | | | | |
| CYBEX TEST DATE(S) | 10/29/1991 | 10/29/1991 | DEFICIT % | | |
| SIDE(S) TESTED | L UNINVOLVED | R INVOLVED | | | |
| SPEED (deg/sec) | 60 120 | 60 120 | 60 | 120 | |
| REPETITIONS | 3 4 | 3 4 | 3 | 4 | |
| BODY WEIGHT (Kg) | (89) | (89) | | | |
| EXTERNAL ROTATION | | | | | |
| PEAK TORQ (Nm) | 28 28 | 21 17 | 25 | 39 | |
| PEAK TORQ % BW | 31% 31% | 23% 19% | | | |
| ANGLE OF PEAK TORQ | -42 -29 | -43 -43 | | | |
| TORQ @ -10 DEGREES (Nm) | 23 24 | 14 13 | 39 | 45 | |
| TORQ @ -45 DEGREES (Nm) | 27 18 | 21 16 | 22 | 11 | |
| ACCEL. TIME (SECS) | .04 .06 | .04 .07 | | | |
| TOTAL WORK (BWR, J) | 29 28 | 24 17 | 17 | 39 | |
| TOTAL WORK (BWR) %BW | 32% 31% | 26% 19% | | | |
| AVG. POWER (BWR, WATTS) | 22 41 | 16 24 | 27 | 41 | |
| AVG. POWER (BWR) %BW | 24% 46% | 17% 26% | | | |
| AVG. POINTS VARIANCE | 11% 19% | 12% 18% | | | |
| TAE (J) | 2.3 3.7 | 1.2 2.1 | 47 | 42 | |
| TOTAL WORK SET 1 (J) | | | | | |
| 1st SAMPLE 1 (TW) | | | | | |
| 2nd SAMPLE 1 (TW) | | | | | |
| ENDURANCE RATIO 1 | | | | | |
| TOTAL WORK SET 2 (J) | | | | | |
| 1st SAMPLE 2 (TW) | | | | | |
| 2nd SAMPLE 2 (TW) | | | | | |
| RECOVERY RATIO | | | | | |
| INTERNAL ROTATION | | | | | |
| PEAK TORQ (Nm) | 39 32 | 31 28 | 20 | 12 | |
| PEAK TORQ % BW | 43% 35% | 34% 31% | | | |
| ANGLE OF PEAK TORQ | -10 -3 | -15 -15 | | | |
| TORQ @ -10 DEGREES (Nm) | 37 31 | 31 27 | 16 | 12 | |
| TORQ @ -45 DEGREES (Nm) | 28 27 | 28 24 | 0 | 11 | |
| ACCEL. TIME (SECS) | .04 .05 | .06 .09 | | | |
| TOTAL WORK (BWR, J) | 42 33 | 39 31 | 7 | 6 | |
| TOTAL WORK (BWR) %BW | 47% 37% | 43% 34% | | | |
| AVG. POWER (BWR, WATTS) | 30 50 | 26 42 | 13 | 16 | |
| AVG. POWER (BWR) %BW | 33% 56% | 29% 47% | | | |
| AVG. POINTS VARIANCE | 15% 16% | 13% 15% | | | |
| TAE (J) | 1.7 5.5 | 2.0 4.4 | -15 | 19 | |
| TOTAL WORK SET 1 (J) | | | | | |
| 1st SAMPLE 1 (TW) | | | | | |
| 2nd SAMPLE 1 (TW) | | | | | |
| ENDURANCE RATIO 1 | | | | | |
| TOTAL WORK SET 2 (J) | | | | | |
| 1st SAMPLE 2 (TW) | | | | | |
| 2nd SAMPLE 2 (TW) | | | | | |
| RECOVERY RATIO | | | | | |
| EXTERNAL ROTATION/INTERNAL ROTATION RATIO AND ROM | | | | | |
| PEAK TORQ | 71% 87% | 67% 60% | | | |
| TOTAL WORK (BWR) | 69% 84% | 61% 54% | | | |
| AVERAGE POWER (BWR) | 73% 82% | 61% 57% | | | |
| TOTAL WORK SET 1 | | | | | |
| TOTAL WORK SET 2 | | | | | |
| AVERAGE ROM (DEGREES) | 82 83 | 88 89 | -7 | -7 | |
| MAX ROM | (84) | (91) | | (-8) | |
| (c) COPYRIGHT LUMEX 1987, 1988, 1989, 1990 | | | | | |

Le rapport numérique nous confirme que les courses dans lesquelles apparaissent les angles d'efficacité maximum des différents groupes musculaires sont respectées. En rotation externe, l'angle d'efficacité maximum à $60^{\circ} \text{ s}^{-1}$ est de 42° pour le côté sain, il est de 43° pour le côté pathologique.

En rotation interne, l'angle d'efficacité maximum à $60^{\circ} \text{ s}^{-1}$ est de 10° pour le côté sain, de 15° pour le côté pathologique.

Du côté pathologique, les rotateurs internes mettent plus de temps à atteindre leur force maximale ; ils sont moins "explosifs" ce qui ne nous surprend pas puisque Monsieur T présentait une rupture post-traumatique du sous-scapulaire.

Le rapport RE/RI, qui est de 67% est excellent puisque supérieur à la moyenne (63%). On peut donc affirmer que l'épaule de Monsieur T a retrouvé une stabilité correcte. Cependant le rapport RE/RI du côté pathologique, qui est son côté dominant, est encore légèrement inférieur au côté sain : 67% contre 71%. Cette différence ne nous permet pas d'aller plus en avant dans notre analyse puisque nous ne connaissons pas les valeurs "écart" exprimées en pourcentage acceptables entre côté dominant et côté non dominant. De plus nous ne pouvons prétendre que Monsieur T faisait partie des 60% de cas présentant un côté dominant supérieur au côté non dominant lorsque son épaule droite était saine.

L'étude du pic de couple est intéressante.

Bien que ce soit le sous-scapulaire qui ait été opéré, les rotateurs internes restent plus forts que les rotateurs externes.

Le rapport numérique nous permet de quantifier avec exactitude le déficit de force musculaire à $60^{\circ} \text{ s}^{-1}$. Ce déficit est de 25% pour les rotateurs externes et de 20% pour les rotateurs internes.

Bien que l'épaule droite de Monsieur T puisse être considérée comme fonctionnelle, les résultats du bilan CYBEX nous laissent penser qu'il faut continuer :

- Un programme de renforcement musculaire,

Pour l'amélioration de la force dynamique, il aurait été intéressant de proposer un programme de renforcement musculaire isocinétique qui apparaît actuellement, grâce à un recrutement des unités motrices plus efficient lors de ce type de contraction, comme l'exercice le plus performant comparé aux entraînements isotoniques ou isométriques (cf. bibliographie n°5)..

- Une rééducation fonctionnelle (reprogrammation neuro-motrice en chaîne cinétique fermée puis ouverte) complément indispensable à la restauration d'une parfaite stabilité.

- Un programme d'ergothérapie permettant à Monsieur T un entraînement adapté aux différentes exigences professionnelles. On peut regretter de n'avoir pas fait d'étude sur le rapport d'endurance des différents groupes musculaires, rapport qui aurait pu servir de base à l'élaboration d'un tel programme.

6. CONCLUSION

Il est illusoire de vouloir apporter une conclusion définitive sur une série aussi peu importante ne prenant pas en compte la distinction hommes - femmes. De plus l'importance des différents "écart-type" nous incitent à être prudents quant aux résultats avancés. Concernant notamment la valeur de l'angle d'apparition du pic de couple nous ne pouvons raisonner que sur des courses angulaires et non sur des valeurs précises (contrairement aux études menées sur la fonction de flexion extension du genou). Toutefois, notre proposition de test isocinétique des rotateurs d'épaule en position neutre modifiée, position qui ne peut éviter totalement les compensations, nous a permis d'une part de vérifier les différentes données admises par la littérature et d'autre part de dégager un profil de courbes reproductibles sur une population saine.

Le bilan d'un patient porteur d'une rupture de coiffe des rotateurs a montré tout l'intérêt de ce test après rééducation, notamment en ce qui concerne l'aspect de la courbe, la détermination du rapport RE/RI obtenu ainsi que celle d'un éventuel déficit musculaire.

De part son aspect reproductible, ce test isocinétique peut permettre le suivi de la rééducation sur le plan musculaire, articulaire, et de la stabilité afin de réajuster le traitement kinésithérapique en permanence.

Conscients de leur utilité, nous souhaitons que des études concernant des populations plus importantes (en dissociant hommes-femmes) soient entreprises sur :

- L'amélioration de la position du test afin d'éviter au maximum les compensations,
- Le pic de couple en vue d'établir pour les différents groupes musculaires le rapport existant entre côté dominant et côté non dominant,
- Le pic de couple par rapport au poids de la personne exprimé en pourcentage,
- L'établissement de corrélation entre tests fonctionnels (kinésithérapiques, ergothérapiques) et test isocinétique.
- L'aspect de la courbe en fonction des diverses pathologies rencontrées (valeur diagnostique).

BIBLIOGRAPHIE

1. **ABEILLON G. - CARMELS P. - DOMENACH M.**
Dynamomètre isocinétique Cybex II et médecine de rééducation J. Réad. Méd.
PARIS : MASSON 1985, 5, N°4 (123-127)
2. **ALLIEU Y. - CAILLENS JP.**
Rupture de la coiffe des rotateurs, étude biomécanique et thérapeutique chirurgicale
Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation 2ème série
PARIS : MASSON 1977 (125-130)
3. **BENASSOULI Y.**
Biomécanique de l'épaule et applications en kinésithérapie
Kinésithérapie scientifique n°188 Février 1981 (5-13)
4. **BONNEL F.**
L'épaule musculaire : de l'anatomie à la biomécanique;
Epaule et médecine de rééducation/sous la direction de L. SIMON
PARIS : MASSON 1984 (1-7)
5. **FOSSIER E. - DANIEL F.**
Renforcement musculaire isocinétique. Méthodologie, intérêts et limites.
6. **GENOT Claude**
Etude comparative du travail isocinétique maximal des muscles rotateurs internes et externes d l'épaule (mémoire)
Université de paris Val de Marne 1982.
7. **GENOT C. - NEIGER H.**
Etude comparative du travail isocinétique maximal des muscles rotateurs internes et externes d'épaule
Journée de médecine physique et de rééducation 1983
8. **GEROMS**
L'épaule - Bilan, Rééducation, Chirurgie.
Strasbourg : Groupe d'Etude et de Recherche des orthèses du membre supérieur
1990 (Comptes rendus de Congrès) 150 P.
9. **GREMION G. - MORAC - CHANTRAINE A.**
Isocinétique et rééducation de l'épaule instable multidirectionnelle non opérée
isocinétisme et médecine de Rééducation/sous la direction de JN HEULEU
PARIS : MASSON 1991 (50-54)
10. **HENRI NEIGER**
Renforcement neuro-musculaire isocinétique asservi
Kinésithérapie scientifique n°275 Janvier 1989 (51-54)

11. HERLANT M. - BOILEAU G. - VOISIN P.

Isocinétisme et rééducation des épaules instables opérées
Isocinétisme et Médecine de Rééducation: sous la direction de JN HEULEU
PARIS : MASSON 1991 (54-65)

12. KERKOUR K., MEIER JL., GOBELET C., AUGROS C.

Isocinétique et renforcement musculaire
Rééducation 1988 - Editions MASSON (257-262)

13. MAILLET M., TANDOGAN R., FACQUEZ T.

Exploration isocinétique de l'épaule après chirurgie de la coiffe des rotateurs
Actualités en rééducation fonctionnelle et réadaptation 16° série/sous la
direction de L. SIMON PARIS : MASSON 1991 (263-267)

14. SABOURIN F. - RODINEAU J.

Résultats des tests isocinétiques dans l'épaule instable non opérée
Isocinétisme et médecine de rééducation: sous la direction de J.N. HEULEU
PARIS : MASSON 1991 (Problème en médecine de rééducation) (45-60)

15. SAVARRASI F.

Rééducation des ruptures de coiffe opérées
Cahiers de Kinésithérapie 1987 127 (57-60)

16. VIEL E.

Biomécanique de l'épaule et incidences sur la rééducation
Med. Sport 1980 54/3 (169-175)

ANNEXES

Courbes de reproductibilité

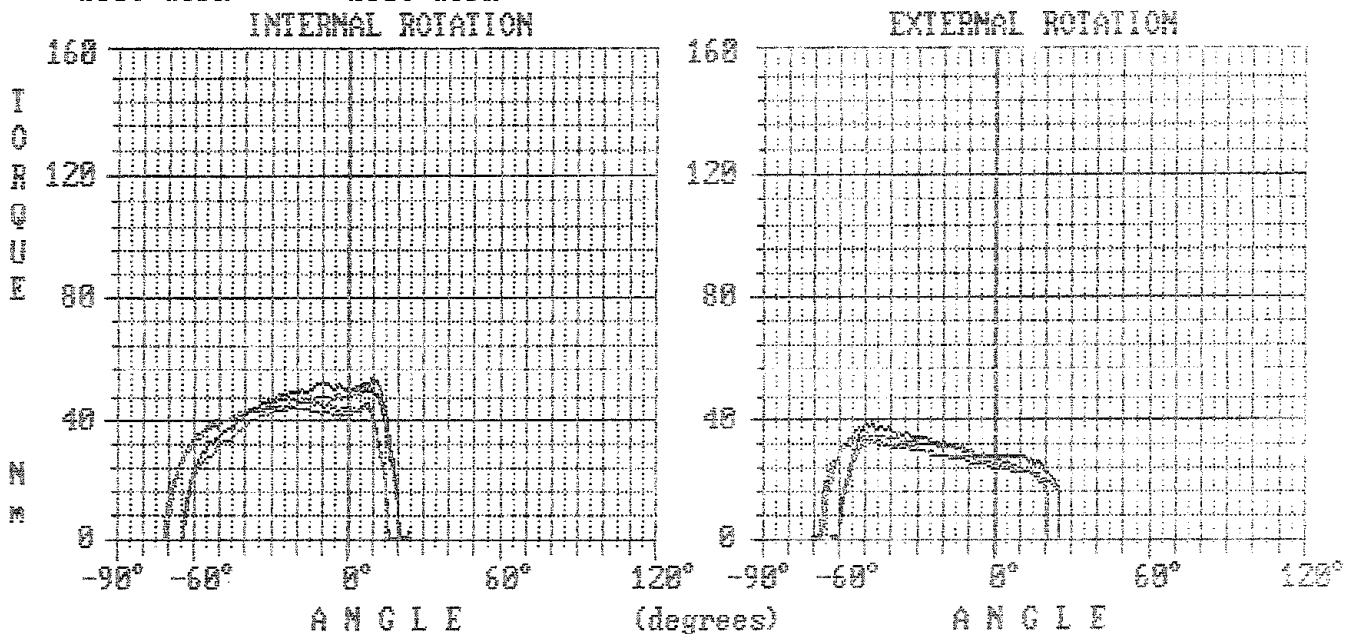
PATRICK PA. BOISSEAU 00158 PRINT REP PTC 01 SPD 003 POS 003 TQ 000 Nm
 SHOULDER IN/EX ROTATION, MODIFIED POSITION Fri Mar 13 09:34:07 1992

TORQUE vs. POSITION - BI-LATERAL INITIAL REPORT

LEGEND:

TEST 1 - RU TEST 2 - RU
 maximum points, maximum points,
 average points, average points,
 best work best work

test 1 date - 10/16/1991 14:09
 test 2 date - 10/29/1991 14:54
 test speed - 60 deg/sec
 test reps - 3



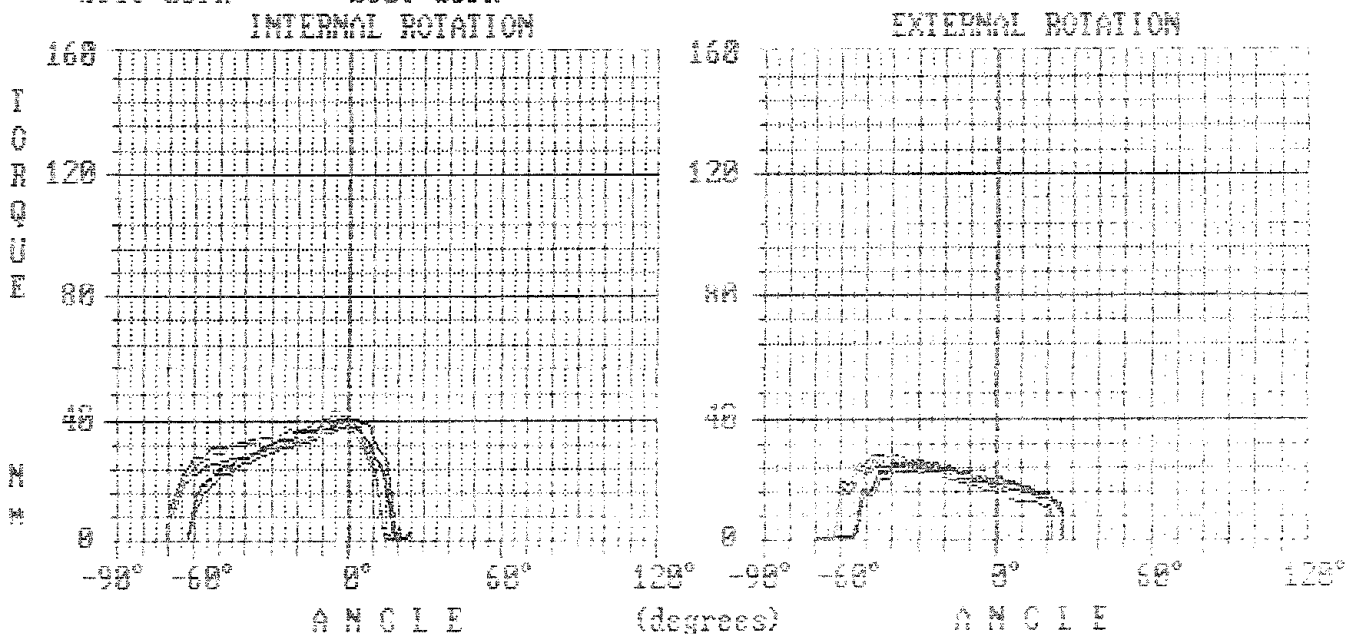
PATRICK PA. BOISSEAU 00158 PRINT REP PTC 01 SPD 003 POS 003 TQ 000 Nm
 SHOULDER IN/EX ROTATION, MODIFIED POSITION Fri Mar 13 09:34:34 1992

TORQUE vs. POSITION - BI-LATERAL INITIAL REPORT

LEGEND:

TEST 1 - RU TEST 2 - RU
 maximum points, maximum points,
 average points, average points,
 best work best work

test 1 date - 10/16/1991 14:09
 test 2 date - 10/29/1991 14:54
 test speed - 120 deg/sec
 test reps - 4



TERMINOLOGIE - DEFINITION - SIGNIFICATION PHYSIOLOGIQUE ET
UNITE des grandeurs mesurées ou calculées en évaluation
fonctionnelle isocinétique

1. Nom du Centre.
2. Titre du rapport.
3. Nom et prénom du patient testé.
4. Date d'édition du rapport.
5. Articulation testée.
6. Date du ou des 2 tests.
7. Colonne de comparaison entre les 2 tests.
8. Côté testé sain ou lésé :
L = Gauche (left) Involved = Lésé ou non dominant
R = Droit (right) Uninvolved = Sain ou dominant
9. La vitesse de test elle est isocinétique et pour chaque série apparaît sur cette ligne. Si un "R" apparaît à côté du chiffre, ceci indique soit un test de reproductibilité (force), soit un test de récupération (ex : 25 mouvements à une vitesse de 240° par seconde). Quand il y a une répétition (pour un test de récupération), on utilise la même vitesse pour deux essais identiques. Ainsi l'ordinateur calcule le pic de couple de chaque vitesse, le travail du meilleur mouvement, et les autres mesures effectuées à cette même vitesse.
10. Nombre de mouvements pour chaque série.
11. Poids du sujet la date du test (peut être différent pour chaque test à 2 dates différentes).
12. Pic de couple pour chaque vitesse : valeur maximum du couple atteint lors d'un mouvement (en Nm)
13. Pic de couple par rapport au poids de la personne exprimé en pourcentage, soit :
$$\frac{\text{Newton M}}{\text{Kg}} \times 100$$
14. Position angulaire correspondant au pic de couple.
- 15.16. Valeur du couple pour 2 angles choisis avant le test par l'opérateur. (ex : 35 et 70).

17. Temps d'accélération en secondes : c'est le temps mis par le sujet pour atteindre la vitesse isocinétique programmée lors d'un mouvement détectée par la production d'un couple minimum.
18. Travail total du meilleur mouvement.
Ce paramètre indique le travail total en joules exprimé pendant le meilleur mouvement en terme de travail ; c'est l'aire de la surface sous la courbe représentant le couple de force/position angulaire.
19. Travail total du meilleur mouvement exprimé par rapport au poids du sujet :

$$\frac{\text{Meilleur mouvement} \times 100}{\text{Poids du sujet}} \quad \text{soit} \quad \frac{\text{Joule} \times 100}{\text{Kg}}$$
20. Puissance moyenne au cours de la meilleure répétition jugée (en terme de travail) pour chaque série (chaque vitesse). La puissance moyenne est un travail par unité de temps et s'exprime en watt. Spécifiquement, les machines CYBEX divisent la valeur du meilleur travail enregistré par le temps de l'effort réel.
21. Puissance moyenne par rapport au poids de la personne (exprimé en pourcentage).

$$\frac{\text{Puissance moyenne}}{\text{Poids de la personne}} \quad \text{soit} \quad \frac{\text{watt}}{\text{Kg}}$$
22. Dispersion des courbes de travail
Ce chiffre est la moyenne du pourcentage de différence calculé tous les demi degrés entre le maximum et la courbe moyenne. Un écart de 0 indique donc que la moyenne des points et des maximums sont identiques.
23. Energie d'accélération du couple de force
L'ordinateur calcule le meilleur travail réalisé dans la série (pour chaque vitesse) au cours du premier 1/8 de seconde de production de couple ; Ce travail est exprimé en joules.
24. Travail total de la série 1
(en joules enregistré pendant la première série). En cas de test de fatigue , il n'y aura qu'une seule série. Un test de récupération comportera deux séries.
25. Travail total du premier échantillon 1
Pour calculer le ratio d'endurance, les machines CYBEX extraient de chaque série deux échantillons. Chaque échantillon est égal à 20 % du total des mouvements enregistrés. Le premier échantillon 1 représente les 20 premiers % de la première série. Ce chiffre est exprimé en joules.

26. Travail total du deuxième échantillon 1 (voir ligne 25)
Le deuxième échantillon 1 représente les derniers 20 % de la série. Ce chiffre est exprimé en joules.
27. Rapport d'endurance 1
C'est le rapport en pourcentage du deuxième échantillon sur le premier. Ce rapport permet d'apprécier l'endurance d'un sujet pendant la durée d'une série.
- 28-29-30. Travail total de la série 2
Si on effectue un test d'évolution ou un test de récupération (comprenant deux séries identiques de mouvements à différents moments), les résultats de la deuxième série apparaitront dans ces lignes. Les paramètres sont les mêmes que pour les lignes 24-25 26-27.
31. Taux de récupération (si le test comporte deux séries identiques numérotées de 1 à 2)
C'est le rapport entre les 2 séries :
$$\frac{\text{Travail total de la série 2}}{\text{Travail total de la série 1}}$$
 (exprimé en poucentage)
- 32 à 52. Cette série de données présente le couple et le travail du groupe de muscles agonistes à ceux précédemment listés (ici l'extension). Les résultats sont exposés dans le même ordre que pour les antagonistes.
- 53 à 58. La dernière partie de ce tableau concerne les rapports de tous les paramètres entre agonistes et antagonistes. Ces rapports sont obtenus en divisant les valeurs du groupe de muscles le plus faible (ex : agonistes) par les valeurs du groupe le plus fort (ex : antagonistes). Le but de cette dernière partie est de comparer les différents paramètres (pic de couple, puissance, ...) entre agonistes et antagonistes.
59. Amplitude de mouvement maximum
C'est l'angle maximum enregistré pendant toute la série entre les deux positions les plus extrêmes.
60. Amplitude moyenne du mouvement
C'est l'amplitude moyenne de rotation calculée sur tous les mouvements d'une série. On obtient cette moyenne en faisant la somme des amplitudes angulaires de chaque mouvement et en divisant par leur nombre. Ce test n'est pas significatif s'il y a un écart de plus de 5 % entre la moyenne et l'amplitude angulaire maximum.

| SUJETS | PT1 | PT2 | PT3 | PT4 | PT5 | PT6 | PT7 | PT8 |
|---------|-------|------|-------|------|-------|------|------|-------|
| 1 | 10 | 12 | 9 | 8 | 23 | 21 | 20 | 17 |
| 2 | 12 | 9 | 8 | 9 | 18 | 24 | 18 | 18 |
| 3 | 21 | 16 | 16 | 12 | 24 | 23 | 21 | 18 |
| 4 | 16 | 18 | 14 | 10 | 25 | 24 | 25 | 20 |
| 5 | 17 | 13 | 13 | 12 | 28 | 28 | 27 | 25 |
| 6 | 13 | 10 | 9 | 6 | 24 | 21 | 17 | 18 |
| 7 | 13 | 13 | 12 | 8 | 37 | 28 | 31 | 25 |
| 8 | 17 | 14 | 13 | 16 | 29 | 31 | 25 | 25 |
| 9 | 27 | 29 | 21 | 20 | 36 | 35 | 31 | 31 |
| 10 | 18 | 23 | 18 | 20 | 43 | 48 | 35 | 39 |
| 11 | 40 | 31 | 35 | 25 | 51 | 56 | 50 | 46 |
| 12 | 27 | 31 | 25 | 27 | 28 | 35 | 25 | 31 |
| 13 | 21 | 20 | 17 | 13 | 42 | 39 | 35 | 32 |
| 14 | 25 | 28 | 21 | 23 | 43 | 44 | 40 | 37 |
| 15 | 32 | 32 | 25 | 27 | 39 | 47 | 35 | 39 |
| 16 | 33 | 29 | 29 | 21 | 47 | 42 | 42 | 35 |
| 17 | 21 | 17 | 17 | 10 | 39 | 35 | 31 | 28 |
| 18 | 27 | 25 | 23 | 23 | 43 | 42 | 39 | 39 |
| 19 | 25 | 21 | 21 | 17 | 40 | 37 | 37 | 32 |
| 20 | 36 | 23 | 27 | 17 | 46 | 42 | 40 | 36 |
| MOYENNE | 22,55 | 20,7 | 18,65 | 16,2 | 35,25 | 35,1 | 31,2 | 29,55 |
| E. T. | 8,39 | 7,59 | 7,26 | 6,76 | 9,55 | 9,98 | 8,89 | 8,57 |
| MAXI | 40 | 32 | 35 | 27 | 51 | 56 | 50 | 46 |
| MINI | 10 | 9 | 8 | 6 | 18 | 21 | 17 | 17 |

Tableau I : Le pic de couple

PT1 : Pic de couple des RE du côté dominant à 60° s^{-1}
PT2 : Pic de couple des RE du côté non dominant à 60° s^{-1}
PT3 : Pic de couple des RE du côté dominant à 120° s^{-1}
PT4 : Pic de couple des RE du côté non dominant à 120° s^{-1}
PT5 : Pic de couple des RI du côté dominant à 60° s^{-1}
PT6 : Pic de couple des RI du côté non dominant à 60° s^{-1}
PT7 : Pic de couple des RI du côté dominant à 120° s^{-1}
PT8 : Pic de couple des RI du côté non dominant à 120° s^{-1}

| SUJETS | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 |
|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
| 1 | 49 | 35 | 44 | 26 | 11 | 28 | 22 | 23 |
| 2 | 49 | 57 | 45 | 43 | 34 | 35 | 40 | 45 |
| 3 | 48 | 51 | 43 | 43 | 15 | -1 | 10 | 29 |
| 4 | 43 | 56 | 45 | 43 | 9 | 20 | 8 | 14 |
| 5 | 34 | 49 | 28 | 36 | -7 | 11 | 13 | 27 |
| 6 | 38 | 20 | 33 | 21 | 6 | 12 | 20 | 19 |
| 7 | 40 | 55 | 30 | 29 | 18 | 20 | 5 | 30 |
| 8 | 33 | 32 | 29 | 33 | -3 | -4 | 0 | 11 |
| 9 | 48 | 54 | 42 | 57 | 23 | 7 | 0 | 15 |
| 10 | 36 | 6 | 30 | 13 | 28 | 11 | 22 | 6 |
| 11 | 20 | 35 | 18 | 30 | -7 | 17 | 4 | 20 |
| 12 | 43 | 51 | 35 | 37 | -10 | -5 | 1 | 1 |
| 13 | 36 | 44 | 22 | 38 | 9 | 17 | 25 | 18 |
| 14 | 36 | 49 | 26 | 38 | -5 | 11 | 9 | 9 |
| 15 | 36 | 32 | 30 | 29 | -1 | 14 | 1 | 29 |
| 16 | 15 | 36 | 16 | 27 | 8 | 16 | 12 | 3 |
| 17 | 30 | 34 | 22 | 36 | -8 | -4 | 25 | 9 |
| 18 | 49 | 54 | 43 | 38 | -11 | 2 | 4 | 5 |
| 19 | 43 | 33 | 27 | 25 | 12 | 6 | 5 | 7 |
| 20 | 53 | 46 | 37 | 35 | 23 | 9 | 6 | 8 |
| MOYENNE | 38,95 | 41,45 | 32,25 | 33,85 | 7,20 | 11,10 | 11,60 | 16,40 |
| E. T. | 9,80 | 13,40 | 9,20 | 9,48 | 13,49 | 10,54 | 10,77 | 11,38 |
| MAXI | 53,00 | 57,00 | 45,00 | 57,00 | 34,00 | 35,00 | 40,00 | 45,00 |
| MINI | 15,00 | 6,00 | 16,00 | 13,00 | -11,00 | -5,00 | 0,00 | 1,00 |

Tableau II : Angle d'efficacité maximum des différents groupes musculaires

- A1 : Angle d'efficacité maximale des RE du côté dominant à 60° s⁻¹
A2 : Angle d'efficacité maximale des RE du côté non dominant à 60° s⁻¹
A3 : Angle d'efficacité maximale des RE du côté dominant à 120° s⁻¹
A4 : Angle d'efficacité maximale des RE du côté non dominant à 120° s⁻¹
A5 : Angle d'efficacité maximale des RI du côté dominant à 60° s⁻¹
A6 : Angle d'efficacité maximale des RI du côté non dominant à 60° s⁻¹
A7 : Angle d'efficacité maximale des RI du côté dominant à 120° s⁻¹
A8 : Angle d'efficacité maximale des RI du côté non dominant à 120° s⁻¹

| SUJETS | R1 | R2 | R3 | R4 |
|---------|------|------|------|------|
| 1 | 0,43 | 0,57 | 0,45 | 0,47 |
| 2 | 0,66 | 0,37 | 0,44 | 0,50 |
| 3 | 0,87 | 0,69 | 0,76 | 0,66 |
| 4 | 0,64 | 0,75 | 0,56 | 0,50 |
| 5 | 0,60 | 0,46 | 0,48 | 0,48 |
| 6 | 0,54 | 0,47 | 0,52 | 0,33 |
| 7 | 0,35 | 0,46 | 0,38 | 0,32 |
| 8 | 0,58 | 0,45 | 0,52 | 0,64 |
| 9 | 0,75 | 0,82 | 0,60 | 0,64 |
| 10 | 0,41 | 0,47 | 0,51 | 0,51 |
| 11 | 0,78 | 0,55 | 0,70 | 0,54 |
| 12 | 0,96 | 0,88 | 1,00 | 0,87 |
| 13 | 0,50 | 0,51 | 0,48 | 0,40 |
| 14 | 0,58 | 0,63 | 0,52 | 0,62 |
| 15 | 0,82 | 0,68 | 0,71 | 0,69 |
| 16 | 0,70 | 0,69 | 0,69 | 0,60 |
| 17 | 0,53 | 0,48 | 0,54 | 0,35 |
| 18 | 0,62 | 0,59 | 0,58 | 0,58 |
| 19 | 0,62 | 0,56 | 0,56 | 0,53 |
| 20 | 0,78 | 0,54 | 0,67 | 0,44 |
| MOYENNE | 0,64 | 0,58 | 0,58 | 0,53 |
| E. T. | 0,16 | 0,13 | 0,14 | 0,14 |
| MAXI | 0,96 | 0,88 | 1,00 | 0,87 |
| MINI | 0,35 | 0,37 | 0,38 | 0,32 |

Tableau III : Rapport des muscles agonistes/antagonistes : RE/RI

R1 : RE/RI à 60° s⁻¹ du côté dominant

R2 : RE/RI à 60° s⁻¹ du côté non dominant

R3 : RE/RI à 120° s⁻¹ du côté dominant

R4 : RE/RI à 120° s⁻¹ du côté non dominant